

IPICYT

**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, A.C.**

**POSGRADO EN CIENCIAS APLICADAS**

**“GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ESPECIES  
ÚTILES Y/O EN CATEGORÍA DE RIESGO DEL SUR  
DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE: EFECTO DE LA  
TEMPERATURA Y DEL POTENCIAL HÍDRICO”**

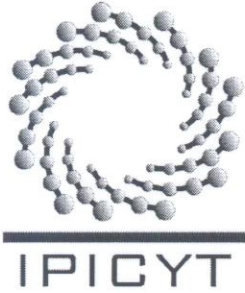
Tesis que presenta  
**Reyes Manuel Pérez Sánchez**

Para obtener el grado de  
**Maestro en Ciencias Aplicadas**

En la opción de  
**Ciencias Ambientales**

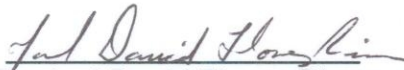
Director de la Tesis  
**Dr. Joel David Flores Rivas**


San Luis Potosí, S. L. P., México., Septiembre de 2009




## CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

La tesis “**Germinación de semillas de especies útiles y/o en categoría de riesgo del sur del desierto chihuahuense: efecto de la temperatura y del potencial hídrico**”, presentada para obtener el Grado de de Maestro en Ciencias Aplicadas en la opción de Ciencias Ambientales, fue elaborada por **Reyes Manuel Pérez Sánchez** y aprobada el **03 de septiembre de 2009** por los suscritos, designados por el Colegio de Profesores de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

  
Dr. Joel David Flores Rivas  
(Director de la tesis)

  
Dr. Leonardo Chapa Vargas  
(Asesor de la tesis)

  
Dr. Enrique Jurado Ybarra  
(Asesor de la tesis)



## CRÉDITOS INSTITUCIONALES

Esta tesis fue elaborada en el Laboratorio de Ecología y Cambio Global de la División de Ciencias Ambientales del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., bajo la dirección del Dr. Joel D. Flores Rivas.

Durante la realización del trabajo el autor recibió una beca académica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología 211824 y del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.



# Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

## Acta de Examen de Grado

El Secretario Académico del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., certifica que en el Acta 026 del Libro Primero de Actas de Exámenes de Grado del Programa de Maestría en Ciencias Aplicadas en la opción de Ciencias Ambientales está asentado lo siguiente:

En la ciudad de San Luis Potosí a los 18 días del mes de septiembre del año 2009, se reunió a las 11:00 horas en las instalaciones del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., el Jurado integrado por:

**Dr. Enrique Jurado Ybarra**  
**Dr. Leonardo Chapa Vargas**  
**Dr. Joel David Flores Rivas**

**Presidente**  
**Secretario**  
**Sinodal**

**UANL**  
**IPICYT**  
**IPICYT**

a fin de efectuar el examen, que para obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS APLICADAS  
EN LA OPCIÓN DE CIENCIAS AMBIENTALES**

sustentó el C.

**Reyes Manuel Pérez Sánchez**

sobre la Tesis intitulada:

*Germinación de semillas de especies útiles y/o en categoría de riesgo del sur del desierto  
chihuahuense: efecto de la temperatura y del potencial hídrico*

que se desarrolló bajo la dirección de

**Dr. Joel David Flores Rivas**

El Jurado, después de deliberar, determinó

**APROBARLO**

Dándose por terminado el acto a las 12:30 horas, procediendo a la firma del Acta los integrantes del Jurado. Dando fe el Secretario Académico del Instituto.

A petición del interesado y para los fines que al mismo convengan, se extiende el presente documento en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, a los 18 días del mes de septiembre de 2009.

**Mtra. Ivonne Lizee Cuevas Vélez**  
Jefa del Departamento de Asuntos Escolares

**Dr. Marcial Bonilla Marín**  
Secretario Académico



---

## DEDICATORIAS

**A Dios.** A ti señor por haberme permitido llegar hasta este punto y hacer realidad este sueño, por haberme dado salud para lograr mis objetivos, por nunca abandonarme, por siempre escuchar todas y cada una de mis plegarias y por todo el amor con el que me rodeas. Gracias.

**A mis padres.** Por ser los seres más maravillosos del mundo, a ustedes por haberme dado la vida, por confiar en mí en todo momento y por todos los sacrificios hechos. A ti **Mamá**, por educarme y apoyarme, por tus consejos y valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por todas las noches que pasas en vela orando por mí y por todo el amor que me das. A ti **Papá** por ser un ejemplo de perseverancia, constancia, nobleza y humildad, por el cariño, la comprensión y la paciencia brindada en todo momento, por guiarme en el camino. Por eso y mucho más gracias, los amo con todo mi corazón.

**A mis hermanos.** Por contar con ustedes en todo momento y por ser los mejores hermanos que la vida me pudo haber otorgado. A mi hermana **Verónica** por nunca dejarme caer y enseñarme a salir de esos momentos difíciles, por todos tus consejos y por siempre estar al pendiente de mí. A mi hermano **Alejandro** por ese enorme sacrificio que hiciste para ayudarme, por ser un ejemplo en toda la extensión de la palabra. A ustedes a quienes amo, mil gracias.

**A mis sobrinos. Montserrat y Saúl** quienes son esa motivación extra para no rendirme nunca y luchar por ser una persona de bien. Por darme siempre una sonrisa y abrazos llenos de ternura. Los amo chiquillos.

**A mis abuelitos.** Por todas las oraciones que me han dedicado. A mi **Mayta** por todas esas lagrimas y tristeza que le he ocasionado. A mi **Mamá Angelita** y mi **Papá Manuel** por las preocupaciones extras que les he dado. A mi **Pachito** que aunque ya no está conmigo se que está orgulloso de mí. Los amo.

---

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT**), por la beca otorgada para la realización de este proyecto.

Al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (**IPICYT**), en especial a la División de Ciencias Ambientales por permitirme ser parte de una generación de gente productiva para el país.

Al **Dr. Joel D. Flores Rivas**, por dirigir este trabajo, por confiar plenamente en mí, por todo el apoyo brindado, por todas sus enseñanzas, por guiarme, por estar siempre dispuesto a escucharme y por su amistad. Mil gracias.

Al **Dr. Leonardo Chapa Vargas**, por la disponibilidad para aceptar la asesoría de esta tesis, por todas las valiosas aportaciones hechas y por el tiempo otorgo siempre que lo necesité. Gracias.

Al **Dr. Enrique Jurado Ybarra**, por la disponibilidad para asesorar esta tesis, por las observaciones, comentarios y correcciones muy acertados. Gracias.

A todos y cada uno de mis familiares quienes estuvieron siempre apoyándome, en especial a mis tías y tíos, **Celia, María, Esther, Gelos, Nico, Malena, Elodia, Belén, Rosa, Ramiro, Poli, Ramiro y Rodolfo**. A mis primos y primas, quienes en todo momento me brindaron fuerza para seguir adelante **Liliana, Sandra, Vicky, Valdo, Gaby, Alma, Ale, Rosy**. A mis sobrinas y sobrino, **Raquel, Rebeca, Jonathan, Ingrid, Mimí, Renata**. A mis primos **Janeth, Manuel, y Nancy** quienes son como mis hermanos, gracias por todos los consejos y palabras de aliento. A **Alejandra Martínez**, que es como una hermana quien siempre ha estado en todo momento a mí lado. A **Salvador** por las recomendaciones dadas. A **Diana y Montserrat** quienes han pasado a ser parte de la familia y a quienes les agradezco las palabras de aliento brindadas. A todos, gracias, los quiero mucho.

---

A todos mis amigos, sin excluir a ninguno, pero en especial a **Lidia, Astrid, Susana, Carlos y Miguel**, con quienes pase una niñez y adolescencia increíble e inolvidable, gracias por no abandonarme, gracias por estar conmigo en esos días de tristeza, pero sobre todo por esos días de alegría inmensa que he pasado a su lado. A **Julieta, Carmen y Mary** quienes a pesar de no vernos, siempre han estado conmigo apoyándome incondicionalmente. A **Evelyn, Lorena, Andrea, Maribel, Erika, Bere, Arizbe, Sandra, Loraine, David y Erikc** gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos y porque han estado conmigo siempre incondicionalmente. Solo puedo decir a todos y cada uno de ustedes que son los mejores amigos que pude haber encontrado en esta vida. Los quiero.

A mis nuevos amigos, aunque no por eso menos importantes, al contrario, gracias por hacer de esta etapa de mi vida, muy divertida y mucho más ligera. Gracias a **Olga, Gris, Marlín, Rebeca, Josué, Edilia, Pablo, Ruth, Víctor, Alejandra, Rodrigo, Angélica Acosta, Bere, Vladimir, Rosy, Dulce, Alma, Liz, Ofe y Ely**. Los quiero.

Agradezco la ayuda del Dr. **Juan Francisco Jiménez Bremont** por haberme permitido amablemente trabajar en una de sus germinadoras, así como a **Alicia Becerra**, por la amabilidad y apoyo que siempre me brinda. Gracias.

A la **Sra. Fide, Sr. Guadalupe, Daniel y Alejandro**. Quienes a pesar de no conocerme, me recibieron en su casa con los brazos abiertos y me hicieron sentir como de la familia. Gracias por formar parte de este logro en mi vida.

A la **Dra. Cecilia Jiménez Sierra** por despertar en mí la curiosidad de la investigación, pero sobre todo por enseñarme lo maravilloso que es el mundo de las cactáceas. Gracias.

Gracias a todos los nombrados aquí y también a los que por falta de espacio no me pudo ser posible nombrar, les agradezco su apoyo. **Dios los bendiga...**

---

## CONTENIDO

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE TESIS.....	ii
CRÉDITOS INSTITUCIONALES.....	iii
ACTA DE EXAMEN.....	iv
DEDICATORIAS.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
ABREVIATURAS.....	xiv
GLOSARIO.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii



---

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVO GENERAL .....	6
3. OBJETIVOS PARTICULARES.....	7
4. HIPÓTESIS .....	8
5. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
5.1 Sitio de estudio .....	9
5.2 Especies de estudio .....	10
5.3 Descripción botánica .....	11
5.3.1 <i>Acacia schaffneri</i> (S. Wats) F.J. Herm.....	11
5.3.2 <i>Agave lechuguilla</i> Torrey.....	13
5.3.3 <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.....	15
5.3.4 <i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto.....	17
5.3.5 <i>Ferocactus histrix</i> (De Candolle) Lindsay.....	19
5.3.6 <i>Isolatocereus dumortieri</i> (Scheidweiler) Backeberg.....	21
5.3.7 <i>Prosopis laevigata</i> (Humb. Et Bonpl. ex. Willd.) M.C. Johnston.....	23
5.3.8 <i>Yucca decipiens</i> Trelease.....	25

---

5.4	Colecta de semillas .....	27
5.5	Experimento de germinación I. <i>“Efecto combinado de distintos potenciales hídricos del suelo y temperaturas en la germinación de semillas”</i> .....	29
5.5.1	Desarrollo del experimento .....	31
5.6	Experimento de germinación II. <i>“Evaluación de la tolerancia de semillas a la exposición a altas temperaturas”</i> .....	32
5.7	Variables de respuesta .....	34
5.8	Análisis estadísticos .....	35
6.	RESULTADOS .....	36
6.1	Experimento de germinación I. <i>“Efecto combinado de distintos potenciales hídricos del suelo y temperaturas en la germinación de semillas”</i> .....	36
6.2	Experimentos de germinación II. <i>“Evaluación de la tolerancia de semillas a la exposición a altas temperaturas”</i> .....	57
7.	DISCUSIÓN .....	65
8.	CONCLUSIONES .....	72
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	74

---

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Especies de estudio.....	10
<b>Tabla 2.</b> Localidades de colecta de semillas.....	28
<b>Tabla 3.</b> Tabla de concentración en gramos de PEG-6000 por litro de agua. T: Temperatura en °C. $\Psi$ : Potencial hídrico en MPa. ....	30
<b>Tabla 4.</b> Efecto de las variables temperatura, potencial hídrico e interacción de ambos factores, sobre el porcentaje y el tiempo medio de germinación. Variables independientes que no presentaron efectos significativos sobre las variables dependientes (*). ....	55
<b>Tabla 5.</b> Efectos en el porcentaje y tiempo medio de germinación de la temperatura y el tiempo de exposición a calor en semillas de especies que no presentaron efectos significativos de ninguna de las variables independientes (factores), ni de su interacción. ....	57
<b>Tabla 6.</b> Efecto de las variables temperatura, tiempo de exposición e interacción de ambos factores, sobre el porcentaje y el tiempo medio de germinación. Variables independientes que no presentaron efectos significativos sobre las variables dependientes (*). ....	64

---

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Zona centro-norte del estado de San Luis Potosí, al sur del desierto chihuahuense.....	9
<b>Figura 2.</b> Ejemplar de un arbusto de <i>Acacia schaffneri</i> (S. Wats) F.J. Herm.....	12
<b>Figura 3.</b> Ejemplares de <i>Agave lechuguilla</i> Torrey.....	14
<b>Figura 4.</b> Ejemplar de <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.....	16
<b>Figura 5.</b> Planta de <i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto., en fructificación....	18
<b>Figura 6.</b> Ejemplar de <i>Ferocactus histrix</i> (De Candolle) Lindsay.....	20
<b>Figura 7.</b> Planta adulta de <i>Isolatocereus dumortieri</i> (Scheidweiler) Backeberg....	22
<b>Figura 8.</b> Árbol de <i>Prosopis laevigata</i> (Humb. Et Bonpl. ex. Willd.) M.C. Johnston. .....	24
<b>Figura 9.</b> Árbol adulto de <i>Yucca decipiens</i> Trelease.....	26
<b>Figura 10.</b> Frutos de A) <i>A. schaffneri</i> , B) <i>A. lechuguilla</i> , C) <i>A. salmiana</i> , D) <i>Y. decipiens</i> , E) <i>E. platyacanthus</i> , F) <i>I. dumortieri</i> , G) <i>P. laevigata</i> y H) <i>F. histrix</i> . ....	27
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de germinación para <i>Prosopis laevigata</i> en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ....	37
<b>Figura 12.</b> Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para <i>Prosopis laevigata</i> en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ....	38

---

**Figura 13.** Porcentaje de germinación para *Acacia schaffneri* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 39

**Figura 14.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Acacia schaffneri* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 40

**Figura 15.** porcentaje de germinación para *Yucca decipiens* ante diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 42

**Figura 16.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Yucca decipiens* ante diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 43

**Figura 17.** Porcentaje de germinación para *Agave lechuguilla* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 45

**Figura 18.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Agave lechuguilla* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 46

**Figura 19.** Porcentaje de germinación para *Agave salmiana* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 48

**Figura 20.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Agave salmiana* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 49

---

**Figura 21.** Porcentaje de germinación para *Isolatocereus dumortieri* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 50

**Figura 22.** Porcentaje de germinación para *Ferocactus histrix* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 52

**Figura 23.** Porcentaje de germinación para *Echinocactus platyacanthus* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ). ..... 54

**Figura 24.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Yucca decipiens* en diferentes tratamientos combinados de pre-tratamientos a altas temperaturas durante distintas semanas ( $p < 0.05$ ). ..... 61

**Figura 25.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Ferocactus histrix* en diferentes tratamientos combinados de pre-tratamientos a altas temperaturas durante distintas semanas ( $p < 0.05$ ). ..... 63

---

## ABREVIATURAS

<b>c.</b>	Cerca de.
<b>CITES</b>	Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre
<b>com. pers.</b>	Comunicación personal
<b>cm</b>	Centímetros
<b>e.e.</b>	Error estándar
<b>e.g.</b>	Por ejemplo
<b>m</b>	Metros
<b>mg</b>	Miligramos
<b>mm</b>	Milímetros
<b>MPa</b>	Mega Pascales
<b>PEG</b>	Polietilenglicol
<b>Pr</b>	Protección especial
<b><math>t_{50}</math></b>	Tiempo medio de germinación
<b><math>\psi_h</math></b>	Potencial hídrico
<b><math>\psi_m</math></b>	Potencial mátrico
<b><math>\psi_o</math></b>	Potencial osmótico

---

## GLOSARIO

**Bipinnada.** Hoja dividida en folíolos o segmentos, de tal modo que estos están enfrentados en el raquis secundario.

**Caducifolio.** Del latín *cadūcus*; (caduco, caído, participio de *cadēre*, caer) y *folĭum* (hoja), hace referencia a los árboles o arbustos que pierden su follaje durante una parte del año, la cual coincide en la mayoría de los casos con la llegada de la época desfavorable, la estación más fría (invierno) en los climas templados. Sin embargo, algunos pierden el follaje durante la época seca del año en los climas cálidos y áridos.

**Campanulada.** Con forma más o menos con forma de campana. Acampanado.

**Candelabriforme.** Que tiene forma de candelabro, ramificado a la manera de un candelabro.

**Inflorescencia.** Agrupamiento de flores dispuesto en una prolongación especializada del tallo.

**Infundibuliforme.** Dícese de la flor con forma de embudo.

**Matorral desértico crasicaule.** Vegetación con predominancia de cactáceas. Pertenece a la categoría tipo de vegetación "Matorral xerófilo".

**Matorral desértico micrófilo.** Vegetación que se desarrolla en las zonas más áridas del país, en el cual predominan arbustos con hojas o folíolos pequeños. Pertenece al tipo de vegetación "Matorral xerófilo".

**Matorral desértico rosetófilo.** Vegetación dominada por plantas con hojas en forma de roseta, con o sin espinas. Pertenece al tipo de vegetación "Matorral xerófilo".



---

**Panícula.** Del latín *panicula*, diminutivo femenino de *panus*. Es una inflorescencia racemosa compuesta de racimos en la que los mismos van decreciendo de tamaño hacia el ápice.

**Perennifolio.** El término procede del latín *perennis*, duradero, perenne, y de *folium*, hoja. Se utiliza para designar los árboles o arbustos que poseen hojas vivas a lo largo de todo el año. Esta flora también recibe el nombre de *siempreverde* ya que, pese a que existe en zonas de estaciones frías, siempre mantiene el follaje.

**Toneliforme.** En forma de tonel.

---

## RESUMEN

“Germinación de Semillas de Especies Útiles y/o en Categoría de Riesgo del Sur del Desierto Chihuahuense: Efecto de la Temperatura y del Potencial Hídrico”

Poco es conocido sobre la germinación de especies desérticas ante un probable cambio climático, en el cual disminuirían las lluvias y aumentarían las temperaturas. En ambientes áridos y semiáridos la germinación de semillas es esporádica, debido principalmente a la baja disponibilidad de humedad en el suelo y a las temperaturas extremas. Así, es probable que la germinación de semillas de especies desérticas sea aún menor por efecto del cambio climático futuro. En esta investigación se realizaron dos experimentos, evaluando: (i) el efecto de distintos tratamientos de humedad del suelo y de temperaturas en la germinación de semillas de ocho especies útiles y/o en categoría de riesgo del sur del desierto chihuahuense, y (ii) el efecto de pre-tratamientos con altas temperaturas alcanzadas a nivel del suelo (40 y 70°C) durante una y dos semanas, en las mismas especies. Para evaluar la humedad del suelo se simularon potenciales hídricos (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8 y -1.0 MPa) utilizando PEG-6000, mientras que las temperaturas utilizadas fueron 18, 25 y 32°C las cuales son temperatura media, máxima media y máxima *maximorum* registradas para el mes de septiembre (mes de lluvias) en la región centro de San Luis Potosí, y 36°C, la cual sustituiría a la temperatura máxima *maximorum* ante un cambio climático. Las variables de respuesta analizadas son el porcentaje de germinación y el tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ). Los resultados obtenidos coinciden con los esperados por efecto de un posible cambio climático, disminuyendo en todas las especies su germinación, así como aumentando el tiempo medio de germinación, mientras las condiciones se fueron haciendo más extremas. *Prosopis laevigata* toleró un mayor número de tratamientos, germinando hasta 100% y con  $t_{50}$  de alrededor de un día en las cuatro temperaturas combinadas con disponibilidad de humedad tanto altas como bajas (desde 0 hasta -0.6 MPa). Esta especie podría tolerar mejor las condiciones de cambio climático, pudiendo así ser una especie predominante en

---

los paisajes naturales en un futuro. El resto de las especies no lograron germinar con baja humedad disponible en ninguna temperatura. La germinación fue menor con alta temperatura (36°C) aún con alta disponibilidad de agua. Ninguna especie mostró efectos sobre el porcentaje de germinación en semillas pre-tratadas a 40 y 70°C. Sin embargo; dos de ellas (*Yucca decipiens* y *Ferocactus histrix*) presentaron germinación lenta (*Y. decipiens* a 70°C durante una y dos semanas, y *F. histrix* a 70°C expuestas durante dos semanas).

**PALABRAS CLAVE.** *Acacia schaffneri*, *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, cambio climático, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus histrix*, *Isolatocereus dumortieri*, potencial hídrico, *Prosopis laevigata*, semillas, temperatura, *Yucca decipiens*, zonas áridas y semiáridas.

---

## ABSTRACT

### “Germination of Threatened and Useful Species from the Southern Chihuahuan Desert: Combined Effects of Soil Water Potential and Temperature”

Little is known about germination of desert species under climate change with less rainfall and higher temperatures. In arid and semiarid environments seed germination occurs sporadically, mainly as a result of low water availability and extreme temperatures. In the future as a result of climate change germination of desert plants might be rarer. There were two experiments in this study: (i) the effect of different soil moisture and temperature on seed germination of eight useful or threatened species in the south of the Chihuahuan desert, and (ii) for the germination of the same species, the effect of exposing seeds at high temperatures (40 and 70°C) for one and two weeks prior to germination. To evaluate soil moisture, water potentials (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8 and -1.0 MPa) were simulated using PEG-6000. Temperatures used were 18, 25 and 32°C (mean, mean maximum and *maximorum* maximum) for the rainy month (September) in the center of San Luis Potosi. A higher temperature (36°C) was also used as the predicted climate change *maximorum* maximum. Response variables were germination percentage and mean germination time ( $t_{50}$ ). Results coincide with expectations for climate change, with lower germination and longer  $t_{50}$  across species with drier and warmer conditions. *Prosopis laevigata* had high germination (up to 100% and  $t_{50}$  of 1 day) in the four temperatures studied and from high to low water availability (0 to 0.6 MPa). This species could germinate well under climate change and persist as dominant in future landscapes. The other species did not germinate with low water availability at any temperature. The highest temperature (36°C) resulted in low germination even with high water availability. No species showed an effect on germination percentage for seeds pretreated at 40°C and 70°C. Two species (*Yucca decipiens* and *Ferocactus histrix*) however, had slow germination (*Y. decipiens* at 70°C for 1 and 2 weeks, *F. histrix* for seeds exposed to 2 weeks at 70°C).

---

**KEY WORDS.** *Acacia schaffneri*, *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, arid and semiarid lands, climate change, *Echinocactus platyacanthus*, *Ferocactus hystrix*, *Isolatocereus dumortieri*, *Prosopis laevigata*, seeds, temperature, water potential, *Yucca decipiens*.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Se prevé que el cambio climático provoque aumentos en las temperaturas medias, cambios en los patrones de precipitación, aumento en la incidencia de eventos climáticos extremos y aumento en el nivel del mar. Todos estos eventos son hasta ahora impredecibles en el tiempo e intensidad (Harris *et al.*, 2006) y pueden afectar tanto a los distintos organismos como a los ecosistemas (Parmesan & Yohe, 2003; Root *et al.*, 2003; Harris *et al.*, 2006). La germinación de semillas en ambientes áridos y semiáridos puede ser afectada por el cambio climático, pues en estas zonas se espera que las temperaturas sean más altas, que los períodos de sequía sean más prolongadas y que las lluvias sea más escasas, disminuyendo así la humedad en el suelo (IPCC, 2007). Para el estado de San Luis Potosí se ha pronosticado un aumento en la temperatura media anual de 2 a 4°C, y una disminución en la precipitación total anual de 5 a 15% para el año 2080 (INE, 2008).

Hasta el momento la investigación sobre el cambio climático y sus efectos en la germinación de semillas de distintos ambientes es casi nula, pues solamente se ha realizado un estudio en ambientes áridos y semiáridos (Ooi *et al.*, 2009) y uno más para ambientes subárticos (Milbau *et al.*, 2009). Los primeros autores encontraron un efecto positivo de las altas temperaturas del suelo que existirían con cambio climático, en tres de ocho especies de desiertos australianos. Milbau *et al.* (2009) realizaron un estudio para seis especies subárticas, encontrando que un aumento en la temperatura podría acelerar la germinación de estas especies y con esto permitir un temprano y alargado periodo de establecimiento de sus plántulas.

La germinación es una de las fases más importantes del desarrollo de las plantas, ya que de esta depende la distribución y abundancia de las especies (Scifres & Brock, 1971). El proceso de germinación comienza cuando la semilla se

empieza a hidratar y termina cuando la radícula rompe la cubierta de la semilla (Bewley & Black, 1994; González-Zertuche & Orozco-Segovia, 1996; Bewley, 1997; Welbaum *et al.*, 1998; Flores & Briones, 2001). Sin embargo, para que este proceso se pueda llevar a cabo con éxito, se necesita de condiciones favorables (Rojas- Aréchiga, 1995; Rojas-Aréchiga & Vázquez-Yanes, 2000), las cuales son esporádicas en ambientes áridos y semiáridos, debido a la baja disponibilidad de humedad en el suelo y a las temperaturas extremas (Ruedas *et al.*, 2000; Flores & Briones, 2001; De la Barrera & Nobel, 2003).

La variación de humedad proporcionada por las lluvias al suelo se puede medir mediante el “potencial hídrico del suelo” ( $\Psi_h$ ). El potencial hídrico se expresa en Mega Pascales o en bares (1 MPa = 10 bar), teniendo un  $\Psi_h$  más cercano a 0 en los lugares más húmedos y, por el contrario,  $\Psi_h$  más negativos en lugares más secos. Los principales responsables del potencial hídrico del suelo son el potencial osmótico y el potencial mátrico ( $\Psi_h$  suelo =  $\Psi_o + \Psi_m$ ). Se le llama “potencial osmótico ( $\Psi_o$ )” a la interacción que existe entre los solutos y las moléculas de agua, ya que los solutos hacen que las moléculas de agua disminuyan su movimiento libre de un lugar a otro. El “potencial mátrico ( $\Psi_m$ )” se caracteriza por poseer retención del agua, ya que ésta interactúa con las partículas del suelo o las paredes celulares de las semillas. Se toma como punto de partida (0 MPa) y comparación el agua pura debido a que tiene una energía libre y, por lo tanto, las moléculas de agua pueden moverse de un lugar a otro sin interacciones con otros cuerpos (Lira, 2003).

Los desiertos son ecosistemas con  $\Psi_h$  del suelo negativos (suelos secos) por periodos largos, debido a la escasa precipitación y/o a la poca retención de humedad que el suelo de estos ambientes proporciona (Flores *et al.*, 2004). En México estos ecosistemas áridos y semiáridos abarcan un poco más del 48% del territorio (González, 2003); siendo el Desierto Chihuahuense el más grande para nuestro país, con alrededor de 400,000 km<sup>2</sup> (Godínez, 1998). Esta zona se

---

caracteriza por su gran riqueza de especies y diversidad de formas de vida y hábitos (Rzedowski, 1991). Todas las especies de plantas que habitan estas zonas se enfrentan a altas temperaturas y baja precipitación.

Debido a las condiciones extremas a las que se enfrentan las semillas de especies de zonas áridas y semiáridas, se han realizado algunos estudios relacionados con la germinación ante diferentes condiciones de temperatura y de potencial hídrico del suelo; sin embargo, muy pocos investigadores las han evaluado en conjunto y con enfoque en el cambio climático. Por ejemplo, Freeman (1973) estudió la germinación de *Agave lechuguilla* en distintas localidades a lo largo del desierto chihuahuense; Villalobos & Peláez (2001) estudiaron la germinación de *Prosopis caldenia* en Argentina; Flores & Briones (2001) a *Cercidium praecox*, *Prosopis laevigata*, *Neobuxbaumia tetetzo*, *Pachycereus hollianus*, *Beaucarnea gracilis* y *Yucca periculosa*, especies del desierto del Valle de Tehuacán, Puebla; De la Barrera & Nobel (2003) a *Stenocereus queretaroensis*, una cactácea de Techaluta, Jalisco, y Van den Berg & Zeng (2006) a *Antheophora pubescens*, *Heteropogon contortus* y *Themeda triandra*, especies del sur de África. Estos estudios se realizaron en especies que habitan en zonas áridas y semiáridas, teniendo en común que las mejores condiciones de germinación se encuentran entre los 25 y 30°C y con suelos húmedos (entre 0 MPa y -0.5 MPa).

La temperatura juega un papel muy importante en la germinación de las semillas. En zonas áridas y semiáridas las semillas están expuestas a altas temperaturas por periodos largos durante el día (Daws *et al.*, 2007), alcanzándose temperaturas a nivel del suelo de hasta 80°C (Hadley, 1970; Daws *et al.*, 2002; Pearson *et al.*, 2002). Las semillas de diversas especies poseen mecanismos que les ayudan a tolerar la desecación y, de este modo, a sobrevivir largos periodos en su ambiente natural (Thompson, 2000; Daws *et al.*, 2007). Sin embargo; también se sabe que las semillas almacenan calor y, por lo tanto, pueden morir a causa de



---

las altas temperaturas y/o al rápido envejecimiento que estas les provocan (Culshaw *et al.*, 2002; Daws *et al.*, 2007).

Se han realizado varios estudios sobre el efecto de pre-tratamientos de altas temperaturas en especies desérticas. Por ejemplo, Keeley & Tufenkian (1984) estudiaron semillas de distintas subespecies de *Yucca whipplei*, las cuales fueron sometidas a tratamientos de 110 y 130°C por cinco minutos, encontrando una disminución significativa en la germinación a 110°C, así como nula germinación a 130°C. Cancino *et al.* (1993) sometieron semillas de *Pachycereus pringlei* a tratamientos térmicos de 40 y 70°C en periodos de una, dos y tres semanas antes de la imbibición, obteniendo la germinación más alta con semillas expuestas a 40°C por una semana, mientras que la germinación más baja la registraron con semillas expuestas a 70°C por tres semanas. Ruedas *et al.* (2000) estudiaron el efecto de semillas de *Mammillaria magnimamma* ante pre-tratamientos de 90°C durante cuatro y 12 horas, no encontrando efectos sobre las semillas en ningún tiempo de exposición; sin embargo, si encontrando efectos sobre el  $t_{50}$  en semillas expuestas por 12 horas, retrasando la germinación. Al-Rawahy *et al.* (2003) estudiaron la germinación de *Prosopis cineraria* y *Prosopis juliflora*, realizando un pre-tratamiento a las semillas de 70°C durante seis horas, presentando *P. juliflora* mayor porcentaje de germinación que *P. cineraria*, tanto en el control como en el pre-tratamiento. Whitaker *et al.* (2004) encontraron que la germinación de las semillas de *Welwitschia mirabilis*, del desierto de Namibia, no fue afectada por un pre-tratamiento de 80°C durante 48 horas. Daws *et al.* (2007) experimentaron con semillas de varias especies de las familias Aizoaceae, Crassulaceae y Cactaceae, realizando pre-tratamientos de 103°C por 17 horas, encontrando mejores resultados en la supervivencia de semillas de las Aizoaceae y Cactaceae, mientras que las Crassulaceae obtuvieron bajo porcentaje de supervivencia.

---

En el sur del desierto chihuahuense, no se han realizado estudios de este tipo, a pesar de presentar una gran riqueza de especies, especialmente de cactáceas (Hernández *et al.*, 2008). Se sabe que algunas cactáceas adultas del sur del desierto chihuahuense, como *Ariocarpus fissuratus*, *Epithelantha bokei* y *Mammillaria lasiacantha* son capaces de sobrevivir a temperaturas del suelo por arriba de 70°C (Nobel *et al.*, 1986), pero se desconoce si las semillas de especies de esta región puedan sobrevivir y germinar con las altas temperaturas registradas a nivel de suelo que se registran en la actualidad.

---

## 2. OBJETIVO GENERAL

- ⦿ Contribuir al entendimiento de los cambios asociados con la humedad disponible en el suelo y con la temperatura, ocasionados por efecto del cambio climático, en la germinación de especies representativas, útiles y/o en categoría de riesgo del sur del desierto chihuahuense.

---

### 3. OBJETIVOS PARTICULARES

- ⦿ Evaluar el efecto combinado de estrés hídrico y térmico en la germinación de semillas de ocho especies representativas del sur del desierto chihuahuense.
- ⦿ Determinar el efecto de la exposición a altas temperaturas en semillas de las mismas ocho especies.

---

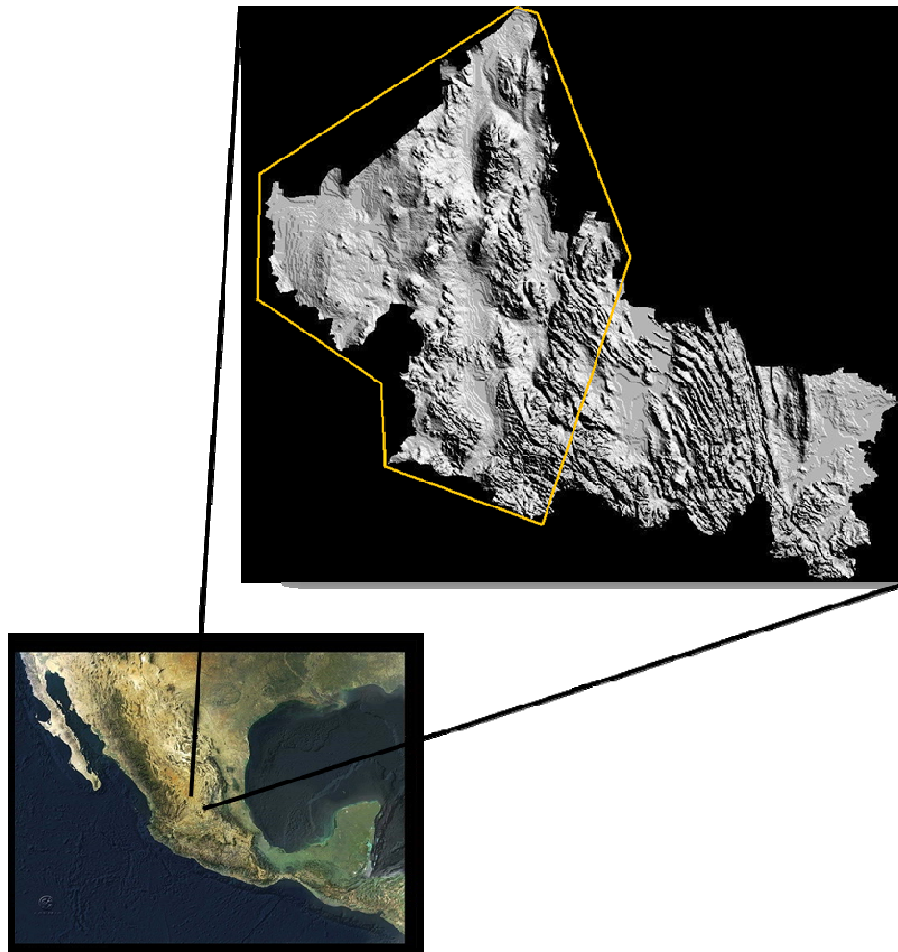
## 4. HIPÓTESIS

- ⦿ A menor disponibilidad de humedad en el suelo en combinación con altas temperaturas, se espera una menor y más lenta germinación de las semillas.
  
- ⦿ Las semillas expuestas a altas temperaturas por períodos largos presentarían menor o nula germinación, así como lenta germinación.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Sitio de estudio

Las especies estudiadas se encuentran al sur del desierto chihuahuense, en los alrededores de la Ciudad de San Luis Potosí (Figura 1). La vegetación que predomina en este sitio son matorrales desérticos micrófilo, rosetófilo y crasicaule, con una precipitación pluvial entre los 300 y 450 mm anuales, con temperaturas promedio de 18°C a 25°C (INEGI, 2002).



**Figura 1.** Zona centro-norte del estado de San Luis Potosí, al sur del desierto chihuahuense.

## 5.2 Especies de estudio

Las especies estudiadas pertenecen a las familias Cactaceae, Agavaceae y Fabaceae (Tabla 1). Estas especies fueron elegidas para su estudio debido a que son representativas de esta zona y por ser especies útiles para el ser humano, teniendo así mayor importancia su conservación y estudio.

Es importante mencionar que las tres especies pertenecientes a la familia Cactaceae aquí estudiadas se encuentran dentro del Apéndice II de CITES (Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre), el cual incluye a especies que no se encuentran necesariamente en peligro de extinción; sin embargo, su comercio debe ser controlado con el fin de evitar la utilización irracional y de este modo evitar el daño a la supervivencia de las poblaciones. Dentro de este apéndice están incluidas también las semillas de las especies (Benítez & Dávila, 2002). Sin embargo, *Echinocactus platyacanthus* y *Ferocactus hirtix*, se encuentran también dentro de las listas de la NOM-059-ECOL-2001 como especie sujeta a protección especial (Pr), debido al saqueo irracional al que están sometidas estas especies (Scheinvar, 2004).

**Tabla 1.** Especies de estudio.

Especies	Familias
1. <i>Acacia schaffneri</i> (S. Wats) F.J. Herm.	→ Fabaceae
2. <i>Agave lechuguilla</i> Torrey.	→ Agavaceae
3. <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	→ Agavaceae
4. <i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto	→ Cactaceae
5. <i>Ferocactus hirtix</i> (De Candolle) Lindsay.	→ Cactaceae
6. <i>Isolatocereus dumortieri</i> (Scheidweiler) Backeberg.	→ Cactaceae
7. <i>Prosopis laevigata</i> (Humb. Et Bonpl. ex. Willd.) M.C. Johnston.	→ Fabaceae
8. <i>Yucca decipiens</i> Trelease.	→ Agavaceae

---

## 5.3 Descripción botánica

### 5.3.1 *Acacia schaffneri* (S. Wats) F.J. Herm.

También conocido como “huizache chino”, es un arbusto perennifolio de hoja bipinnada, con flores aromáticas de color amarillo brillante, sus vainas son cilíndricas algo pilosas y curvadas, las semillas de esta especie miden de 0.7 a 0.8 cm de largo en promedio (Figura 2); la época de floración es de febrero a junio (Terrones *et al.*, 2004). Sus semillas tienen un peso promedio de  $111.23 \pm 2.95$  mg (media  $\pm$  e.e.;  $n = 30$ ). Se sabe que las semillas de *Acacia* presentan una cubierta impermeable al agua y requiere de pre-tratamientos para obtener una mayor germinación (Fagg & Greaves, 1990; Timberlake *et al.*, 1999; Matekaire & Maroyi, 2007), o bien, del paso a través del tracto digestivo de algunos herbívoros (Choinski & Touhy, 1991; Timberlake *et al.*, 1999; Matekaire & Maroyi, 2007).

Usos: de las flores se extraen esencias aromáticas para perfumes, así como pigmentos para teñir telas de seda y papel tapiz. También se utiliza como leña, para hacer cercas vivas, como forraje para el ganado y como planta de ornato (Terrones *et al.*, 2004).





**Figura 2.** Ejemplar de un arbusto de *Acacia schaffneri* (S. Wats) F.J. Herm.

---

### 5.3.2 *Agave lechuguilla* Torrey.

Conocida comúnmente como “lechuguilla”. La roseta mide 25 a 46 cm. de altura y 40 a 69 cm. de ancho. Las hojas son curvadas hacia el centro y miden 2.5 cm. de ancho y 25 a 49 cm. de largo, son de color verde o verdes-amarillentas. Usualmente la roseta está conformada por 20 hojas. La espina terminal es cónica y recta, y mide 1.3 a 3.8 cm. de largo (Figura 3). La inflorescencia es una espiga y llegan a media de 2.4 a 5 m. sobre la planta. Las flores son de color amarillo con tonos rojos o púrpura. La época de floración es de mayo a julio (Irish & Irish, 2000). Las semillas pesan en promedio  $2.89 \pm 0.09$  mg ( $n = 30$ ). *Agave lechuguilla* es una especie que muestra reproducción por rizomas, con poblaciones compuestas por una serie de clones (Freeman, 1973).

Usos: textil, alimenticia, como cerca viva, medicinal y ornamental. Existen numerosas empresas de artesanía que aún utilizan la técnica de hilado y tejido del ixtle (fibra obtenida de las hojas) que era común en la época prehispánica, desde el corte de la penca u hoja, hasta el tinte natural. Con sus fibras duras se fabrican cordones, bolsas, sombreros, cepillos o estropajos (Irish & Irish, 2000).



**Figura 3.** Ejemplares de *Agave lechuguilla* Torrey.

### 5.3.3 *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

Se le conoce como “magüey mezcalero” o “magüey de pulque”. Es una planta que llega a medir 1.5 a 1.8 m. de alto y de 3 a 4 m de ancho; la roseta está conformada de 20 a 30 hojas, las cuales llegan a medir de 25 a 36 cm. de ancho y de 1 a 2 m. de largo. Son de color verde oscuro a verde-grisáceos. La púa es aplanada y encorvada de color castaño marrón a gris y la espina terminal mide 2 a 4 cm (Figura 4). La inflorescencia es una robusta panícula que llega a medir 7 a 8 m. de alto con 15 a 20 ramificaciones. Las flores son de color amarillo con tonos rojos (Irish & Irish, 2000). Sus semillas en promedio pesan  $6.33 \pm 0.22$  mg ( $n = 30$ ). *Agave salmiana* es una especie con una estrategia reproductiva combinada, ya que utiliza la propagación vegetativa y la reproducción sexual, esta última solo cuando las condiciones son adecuadas (Maiti *et al.*, 2005). A pesar de la alta producción de semillas, la germinación y el establecimiento de plántulas de *Agave* spp. ha sido reportado como raro en la naturaleza (Freeman, 1973, 1975; Jordan & Nobel, 1979; Arizaga & Ezcurra, 2002; Maiti *et al.*, 2005). Este establecimiento es solamente posible en años inusualmente lluviosos (Jordan & Nobel, 1979; Maiti *et al.*, 2005). Por lo tanto la propagación es principalmente hecha por retoños y bulbillos, presentando poca diversidad genética (Infante *et al.*, 2003; Maiti *et al.*, 2005). Esta tendencia puede ser relacionada a inadecuadas condiciones de campo para que se lleve a cabo la germinación, generada por sobrepastoreo y degradación del hábitat, y por la reducida producción de semillas (Peña-Valdivia *et al.*, 2006). Las semillas de *Agave* son insensibles a los efectos de la luz durante la germinación (Freeman, 1973, 1975; Jordan & Nobel 1979; Maiti *et al.*, 2005). En especies silvestres es común que las semillas permanezcan latentes en el suelo hasta que las condiciones ambientales sean adecuadas para la germinación y el establecimiento de las plántulas (Peña-Valdivia *et al.*, 2006).

Usos: es el agave más utilizado para la producción de mezcal y pulque en México (Irish & Irish, 2000). También es muy común para uso ornamental (observación personal).



**Figura 4.** Ejemplar de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

---

#### 5.3.4 *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto.

Conocido comúnmente como “Biznaga burra” o “Biznaga gigante”, es una planta globosa toneliforme, su tallo es color verde claro y llega a medir 2.5 m de ancho y 3 m de altura, su ápice está provisto de masa lanosa. Tiene de 21 a 30 costillas o más. Sus aréolas son grandes de donde salen espinas de color amarillento, de 3 a 4 radiales y de 1 a 3 centrales. Sus flores son de color amarillo brillante, los frutos son secos elípticos de color amarillento con numerosas escamas y recubiertos de lana (Figura 5). Las semillas son negras brillantes de aproximadamente 2.5 mm de longitud, con taza del hilo lateral y testa reticulada. Esta especie florece de mayo a agosto (Scheinvar, 2004). El peso promedio de sus semillas es de  $2.66 \pm 0.04$  mg ( $n = 30$ ). Los cactus toneliformes requieren de luz para llevar a cabo su germinación, germinan en la superficie del suelo donde la luz y las altas temperaturas están presentes (Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1998).

Usos: es una especie utilizada comúnmente como ornamental, sin embargo también se utiliza para la realización del dulce del acitrón. Este uso ha hecho que esta especie disminuya el número de individuos en sus poblaciones y esto aunado a su lento crecimiento, y por lo cual se encuentra referida en la NOM-059-ECOL-2001 en la categoría sujeta a protección especial (Pr). Esta especie también es usada por los campesinos como forraje para su ganado en época de sequía (Scheinvar, 2004).



**Figura 5.** Planta de *Echinocactus platyacanthus* Link & Otto., en fructificación.

---

### 5.3.5 *Ferocactus histrix* (De Candolle) Lindsay.

También llamado “biznaga de bola”. Es una especie globosa que llega a medir de 30 hasta 100 cm de ancho, es de color verde olivo amarillento. Presenta de 20 a 40 costillas, las areolas presentan lana amarillenta, con 8 espinas radiales amarillas y comúnmente con 1 espina central rojiza (Figura 6). Sus flores son amarillas campanuladas y sus frutos son blanquecinos cuando maduros, estos presentan numerosas semillas de color marrón negruzco, las cuales miden aproximadamente 1 mm de longitud. Su época de floración es de marzo a agosto. Esta especie aparece referida en la NOM-059-ECOL-2001 como especie sujeta a protección especial (Pr), debido al saqueo irracional al que está sometida la especie (Scheinvar, 2004). Las semillas de esta especie pesan en promedio  $0.41 \pm 0.01$  mg ( $n = 30$ ). Las biznagas germinan en la superficie del suelo donde la luz y las altas temperaturas están presentes (Rojas-Aréchiga *et al.*, 1997; Rojas-Aréchiga *et al.*, 1998).

Usos: es una especie sumamente explotada debido a que su tallo es usado para la elaboración del dulce “acitrón”. Además de que los frutos son comestibles y se elaboran varios productos de ellos (Scheinvar, 2004).





**Figura 6.** Ejemplar de *Ferocactus histrix* (De Candolle) Lindsay.

---

### 5.3.6 *Isolatocereus dumortieri* (Scheidweiler) Backeberg.

Conocido como “Pitayo” o “Candelabro”. Es una especie arborescente candelabroforme. Presenta un tronco principal de hasta 1.5 cm de longitud, sus ramas son erectas y paralelas entre sí, es de color verde claro, recubierto de cera grisácea. Presenta de 5 a 8 costillas, sus areolas presentan abultada lana amarillenta, la cual es caduca con el tiempo, cada areola presenta de 9 a 18 espinas de color amarillo, rojas o grisáceas (Figura 7). Sus flores son de color blanco verdoso, subapicales, tubulares-infundibuliformes. El fruto es subgloboso con pulpa roja con agradable aroma. Las semillas son negras, opacas, de 1.5 a 1.8 mm de longitud. Esta especie florece de marzo a junio (Scheinvar, 2004). Sus semillas pesan en promedio  $1.57 \pm 0.06$  mg ( $n = 30$ ), y no presentan latencia (Flores & Jurado, 2009).

Usos: los frutos de esta especie son consumidos frescos, debido a su sabor dulce. Utilizada como ornato, al igual que en muchas especies de la familia Cactaceae (Scheinvar, 2004).



**Figura 7.** Planta adulta de *Isolatocereus dumortieri* (Scheidweiler) Backeberg.

---

### 5.3.7 *Prosopis laevigata* (Humb. Et Bonpl. ex. Willd.) M.C. Johnston.

Conocido como “mezquite”, es un árbol o arbusto leñoso, caducifolio, el tallo se ramifica a baja altura en ocasiones al nivel del suelo. Alcanza 12 a 14 m de altura. La madera es dura y pesada, en el centro es café o negra muy durable por su dureza y consistencia. Las ramas presentan espinas laterales. Las hojas son bipinnadas, las flores se encuentran agrupadas en inflorescencias en espigas, son sumamente pequeñas y producen un aroma y néctar agradable para la polinización y son de color blanco-verdoso (Figura 8). La raíz es profunda. El fruto es una vaina, con semillas de aproximadamente 1 cm de largo, en forma aplastadas o aplanadas. La época de floración es de febrero a abril (Terrones *et al.*, 2004). Las semillas de esta especie tienen un peso promedio de  $46.04 \pm 1.04$  mg ( $n = 30$ ). Las plantas del género *Prosopis*, al igual que las del género *Acacia*, funcionan como plantas nodrizas de muchas otras especies (Flores & Jurado, 2003). Son géneros altamente adaptados a suelos tanto arenosos arcillosos y arcilloso barrosos (Everitt, 1983).

Usos: se utiliza ampliamente para la elaboración de muebles; de la corteza se obtienen taninos que son utilizados como curtiente vegetal. También se utiliza su leña, sus frutos se consume frescos o hervidos, y sus hojas sirven como forraje para el ganado (Terrones *et al.*, 2004).



**Figura 8.** Árbol de *Prosopis laevigata* (Humb. Et Bonpl. ex. Willd.) M.C. Johnston.

---

### 5.3.8 *Yucca decipiens* Trelease.

Conocida como “palma china”. Es un árbol muy grande de 15 m. de altura, muy ramificada. Hojas casi planas, rectas, no muy rígidas que miden 58 cm de largo por 2.5 cm de nacho; en su margen presentan numerosos filamentos espiralados de color grisáceos (Figura 9). La panícula es más o menos cónica, erecta o algo inclinada, multiflora. Sus flores miden hasta 2.5 cm de largo, el fruto es colgante, con semillas de 8 mm de largo, algo rugosas. Su época de floración es de enero a marzo (Matuda & Piña, 1980). Sus semillas pesan en promedio  $84.09 \pm 1.55$  mg ( $n = 30$ ). A pesar de la gran cantidad de semillas que produce esta especie, el número de plantas que alcanzan el estado adulto es muy bajo; principalmente atribuido a la escasez o irregularidad de los eventos de lluvia y a la gran cantidad de semillas que son consumidas por las larvas de las polillas que polinizan la especie, así como a la gran cantidad de plántulas que son devoradas por roedores, y por el pastoreo. El establecimiento de plántulas es mayor bajo plantas nodrizas (Matuda & Piña, 1980).

Usos: los frutos y flores son consumidos frescos, como en diversos platillos, las raíces se usan como jabón, de los troncos y las hojas se hacen paredes y techos de corrales para el ganado, además de ser una especie ornamental (Matuda & Piña, 1980).

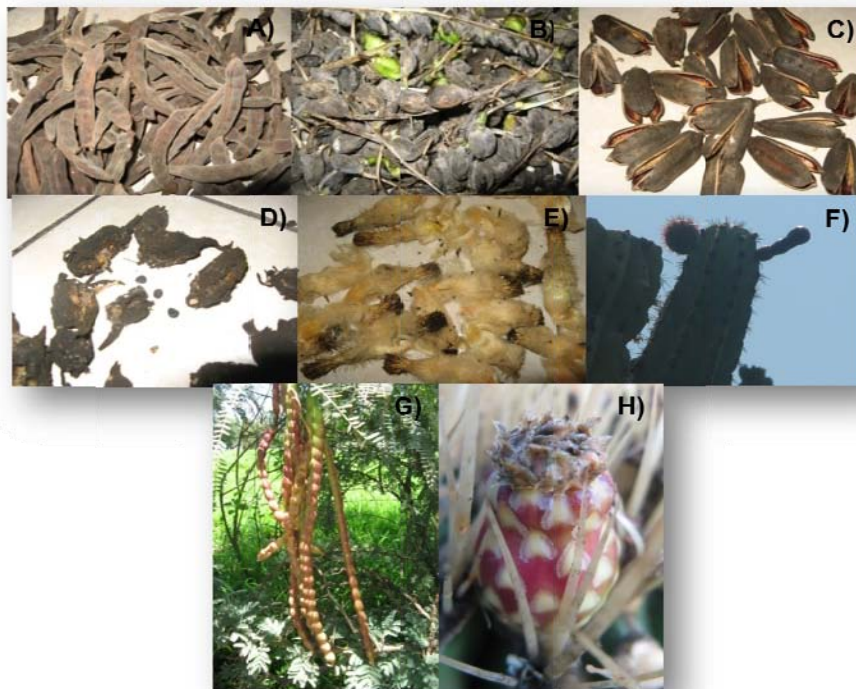


**Figura 9.** Árbol adulto de *Yucca decipiens* Trelease.

Todas estas especies son predominantes en los paisajes naturales actualmente; ayudan a controlar la erosión, infiltran agua de lluvia, incrementan el contenido de materia orgánica de los suelos, fijan nitrógeno (principalmente *A. schaffneri* y *P. laevigata*), y proporcionan alimento y refugio a la fauna silvestre (Terrones *et al.*, 2004).

## 5.4 Colecta de semillas

La colecta de frutos maduros se realizó en distintas localidades del sur del desierto chihuahuense (Tabla 2), así como en distintos meses del año 2008, dependiendo de la época de maduración de los frutos. Para la especie *P. laevigata* (Figura 10-G) se colectaron en el mes de junio y *F. histrix* (Figura 10-H) en julio, mientras que *A. schaffneri* (Figura 10-A), *A. lechuguilla* (Figura 10-B) y *E. platyacanthus* (Figura 10-E) fueron colectadas en septiembre. Las semillas de *A. salmiana* (Figura 10-C), *Y. decipiens* (Figura 10-D) e *I. dumortieri* (Figura 10-F), fueron colectadas en noviembre del 2007 para las dos primeras especies y del 2002 para la tercer especie. La colecta se realizó de por lo menos 10 individuos, con el fin de tener variabilidad genética.



**Figura 10.** Frutos de A) *A. schaffneri*, B) *A. lechuguilla*, C) *A. salmiana*, D) *Y. decipiens*, E) *E. platyacanthus*, F) *I. dumortieri*, G) *P. laevigata* y H) *F. histrix*.



**Tabla 2.** Localidades de colecta de semillas.

<b>Especie</b>	<b>Localidad</b>
1. <i>Acacia schaffneri</i> (S. Wats) F.J. Herm.	San Luis Potosí, S.L.P.
2. <i>Agave lechuguilla</i> Torrey.	Mexquitic de Carmona, S.L.P
3. <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	Mexquitic de Carmona, S.L.P
4. <i>Echinocactus platyacanthus</i> Link & Otto	Vanegas, S.L.P.
5. <i>Ferocactus histrix</i> (De Candolle) Lindsay.	Mexquitic de Carmona, S.L.P
6. <i>Isolatocereus dumortieri</i> (Scheidweiler) Backeberg.	Santa María del Río, S.L.P.
7. <i>Prosopis laevigata</i> (Humb. Et Bonpl. ex. Willd.) M.C. Johnston.	San Luis Potosí, S.L.P.
8. <i>Yucca decipiens</i> Trelease.	Mexquitic de Carmona, S.L.P

---

## 5.5 Experimento de germinación I. “Efecto combinado de distintos potenciales hídricos del suelo y temperaturas en la germinación de semillas”

Los tratamientos constaron de cinco unidades experimentales con 20 semillas para cada especie. Éstas fueron colocadas en cajas petri con solución de polietilenglicol 6000 (PEG-6000) como sustrato, con el fin de simular variaciones en la disponibilidad de humedad del suelo (Michel & Kaufmann, 1973; Hardegree & Emmerich, 1994; Villalobos & Peláez, 2001). Esta solución fue utilizada debido a que se ha documentado que no presenta toxicidad sobre las semillas; además de proporcionar diferentes potenciales hídricos ( $\Psi_h$ ) del suelo (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8 y -1.0 MPa) a diferentes temperaturas (Tabla 3), teniendo un diseño experimental factorial. Las proporciones de PEG-6000 para cada tratamiento fueron preparadas de acuerdo con Amaral *et al.* (1991). Las semillas fueron puestas a germinar bajo fotoperiodos de 12 horas luz, 12 horas oscuridad, en una incubadora para plantas Lumistell modelo ICP-19 d-c/iv.

Los tratamientos de temperatura utilizados fueron 18, 25, 32 y 36°C. Tales temperaturas fueron escogidas con base en la temperatura media de 18°C (temperatura promedio de varios años en el mes de septiembre), una temperatura máxima media de 25°C (promedio histórico de la temperatura máxima) y una temperatura máxima *maximorum* de 32°C (valor de la temperatura máxima presentada a nivel diario para el mes), mientras que 36°C sería la temperatura máxima *maximorum* que sustituiría a 32°C ante un cambio climático; con una precipitación promedio para el mismo mes de 52 mm (Medina *et al.*, 2005). Se tomaron como referencia las condiciones climáticas del mes de septiembre, debido a que es uno de los meses que presenta mayor precipitación durante el año en el estado de San Luis Potosí. Además, en este mes los frutos de las ocho especies de estudio ya están maduros y/o sus semillas ya se encuentran

dispersas en el campo, listas para ser embebidas por las lluvias y de este modo poder germinar.

La germinación se revisó diariamente, durante un período de dos semanas (14 días). Se consideró como germinada a la semilla que mostró alguna porción de la radícula.

**Tabla 3.** Tabla de concentración en gramos de PEG-6000 por litro de agua. T: Temperatura en °C.  $\psi$ : Potencial hídrico en MPa.

T / $\psi$	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0
18	agar 1.5%	109.513	166.086	209.870	246.910	279.605
25	agar 1.5%	119.571	178.343	223.664	261.948	295.713
32	agar 1.5%	131.339	192.382	239.323	278.930	313.841
36	agar 1.5%	138.984	201.351	249.256	289.658	325.261

---

### 5.5.1 Desarrollo del experimento

Dependiendo de la temperatura y del potencial hídrico que se quería obtener se diluyó PEG-6000 en un litro de agua destilada (Tabla 3); una vez diluido este soluto, se dejó agitando durante 16 horas, con el fin de que la mezcla uniformizara. Una vez transcurrido este periodo, se vertió cada solución en cinco cajas petri con algodón para cada especie. Se colocaron posteriormente 20 semillas de cada especie por caja petri con cinco repeticiones por tratamiento, teniendo un total de 100 semillas de cada especie para cada combinación de temperatura y  $\psi_h$  posible, este proceso se llevó a cabo para las cuatro temperaturas (18, 24, 32 y 36°C) y los cinco potenciales hídricos negativos (-0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1.0 MPa). Por otro lado, las cajas con potencial hídrico de 0 MPa se prepararon con agar al 1.5%, esto debido a que el agar permite el libre movimiento del agua, estando de esta manera disponible para las semillas, fungiendo como control en todos los casos. Todas las cajas fueron selladas con papel adherente transparente para evitar la evaporación y colocadas en incubadoras para plantas, con su respectiva temperatura. Se realizó un registro de las semillas germinadas diariamente durante dos semanas.

---

## 5.6 Experimento de germinación II. “Evaluación de la tolerancia de semillas a la exposición a altas temperaturas”

Los tratamientos de germinación constaron de cinco unidades experimentales, con 20 semillas por especie. Las semillas de cada especie fueron sometidas a un pre-tratamiento, el cual consistió en exponerlas a temperatura ambiente (control), a temperaturas extremas alternantes de 40°C/ambiente y 70°C/ambiente (donde 40 y 70°C son temperaturas altas que se pueden alcanzar a nivel del suelo en zonas áridas y semiáridas y donde la temperatura ambiente consistió en dejar a las semillas en un cuarto a temperatura ambiental, aproximadamente 22°C), por periodos de 2/22 horas (expuestas/ambiente, respectivamente), por una y dos semanas, usando un horno de secado BINDER. Estos períodos (uno y dos semanas) simulan diferentes períodos de exposición a altas temperaturas que pueden ocurrir en el campo, debido a que el número de días con precipitación apreciable para la zona en San Luis Potosí es de 10 días (Medina *et al.*, 2005), teniendo en un caso extremo del mes de septiembre 20 días sin lluvias, lo que quiere decir que hay un poco más de dos semanas sin lluvias y por lo tanto las temperaturas pudieran ser altas. Las dos horas expuestas a altas temperaturas, son las horas registradas en que las temperaturas llegan a ser más altas durante un día según Medina *et al.*, (2005), donde podrían estar expuestas las semillas a una temperatura más extrema (entre las 14:00 y las 16:00 horas).

Posteriormente, una vez finalizado el periodo de pre-tratamientos para la germinación, las semillas fueron colocadas en cajas Petri, en las condiciones óptimas encontradas en el experimento I para cada especie, las cuales fueron a temperatura de 18°C para *A. schaffneri*, *A. lechuguilla* y *Y. decipiens*, y a 25°C para *A. salmiana*, *F. histrix* y *P. laevigata*, todas estas especies colocadas en agar bacteriológico al 1.5% como sustrato, y finalmente a 32°C para *E. platyacanthus* e *I. dumortieri* conteniendo como sustrato PEG-6000 con potenciales hídricos de -0.4 y -0.2 MPa, respectivamente. En todos los casos, las semillas se expusieron a

---

fotoperiodos de 12 horas luz y 12 horas oscuridad en una incubadora para plantas marca Lumistell modelo ICP-19 d-c/iv. La germinación se revisó todos los días, durante un período de dos semanas (14 días). Se tomó como germinada a la semilla que mostró alguna porción de la radícula.

Para ambos experimentos (I y II), todas las semillas de *A. schaffneri* y *P. laevigata* fueron escarificadas mecánicamente, debido a que estas dos especies presentan latencia física (Flores & Jurado, 1998), ocasionada por la presencia de una testa gruesa, la cual les impide ser embebidas y por lo tanto germinar. En la naturaleza, estas especies son escarificadas al pasar por el tracto digestivo de algunos mamíferos y aves (Peláez *et al.*, 1992; Villalobos & Peláez, 2001), o bien, por efecto de las escorrentías, al arrastrar las semillas junto con piedras y arena, y así escarificar la testa (Bewley & Black, 1994).

---

## 5.7 Variables de respuesta

Para cada tratamiento se determinaron dos variables de respuesta:

El porcentaje de germinación para cada especie, el cual nos indica la proporción de semillas que son capaces de germinar en un tiempo determinado.

El tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) o velocidad de germinación para cada especie, con base en la siguiente fórmula (Ellis & Roberts, 1978; Sánchez *et al.*, 2005):

$$t_{50} = \frac{\sum G_{1i}}{\sum G_1}$$

Donde  $i$  = día de germinación,  $G_1$  = número de semillas germinadas en la unidad experimental al día  $i$ .

El  $t_{50}$  nos indica el número de días que tardó en germinar la mitad de la población de las semillas, siendo este importante ya que el establecimiento exitoso de las especies depende del tiempo en que tarden en germinar después de ser embebidas por las primeras lluvias (Vázquez-Yanes & Orozco-Segovia, 1996; De la Barrera & Nobel, 2003). De este modo, las semillas pueden aprovechar los cortos periodos de lluvias en estas zonas áridas y semiáridas.

---

## 5.8 Análisis estadísticos

Para el primer experimento se realizó un análisis de varianza factorial por especie para cada variable de respuesta, donde los factores fueron el potencial hídrico con seis niveles (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8 y -1.0 MPa) y la temperatura con cuatro niveles (18, 25, 32 y 36°C). Las variables de respuesta fueron el porcentaje de germinación y el tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ). En los casos en que se encontraron efectos significativos, se realizaron comparaciones múltiples (*Tukey test*) para ver diferencias significativas entre tratamientos.

Para el segundo experimento también se realizó un análisis de varianza factorial por especie para cada variable de respuesta, teniendo como factores la temperatura con tres niveles (ambiente, 40 y 70°C) y el tiempo (0, 1 y 2 semanas). Las variables de respuesta fueron las mismas que en el experimento anterior. También se realizaron comparaciones múltiples (*Tukey test*) para ver diferencias significativas entre tratamientos.

Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo en el programa SAS (SAS/Institute, 1999), con un nivel de significancia ( $\alpha$ ) del 5%. En ambos experimentos las variables de respuestas fueron transformadas con el fin de normalizar los datos. En el experimento I, los porcentajes de germinación se transformaron utilizando el arcoseno de la raíz cuadrada de los datos, mientras los  $t_{50}$  se transformaron a  $\log_{10}$ ; en el experimento II ambas variables se transformaron utilizando el arcoseno de la raíz cuadrada (Sokal & Rohlf, 1995).



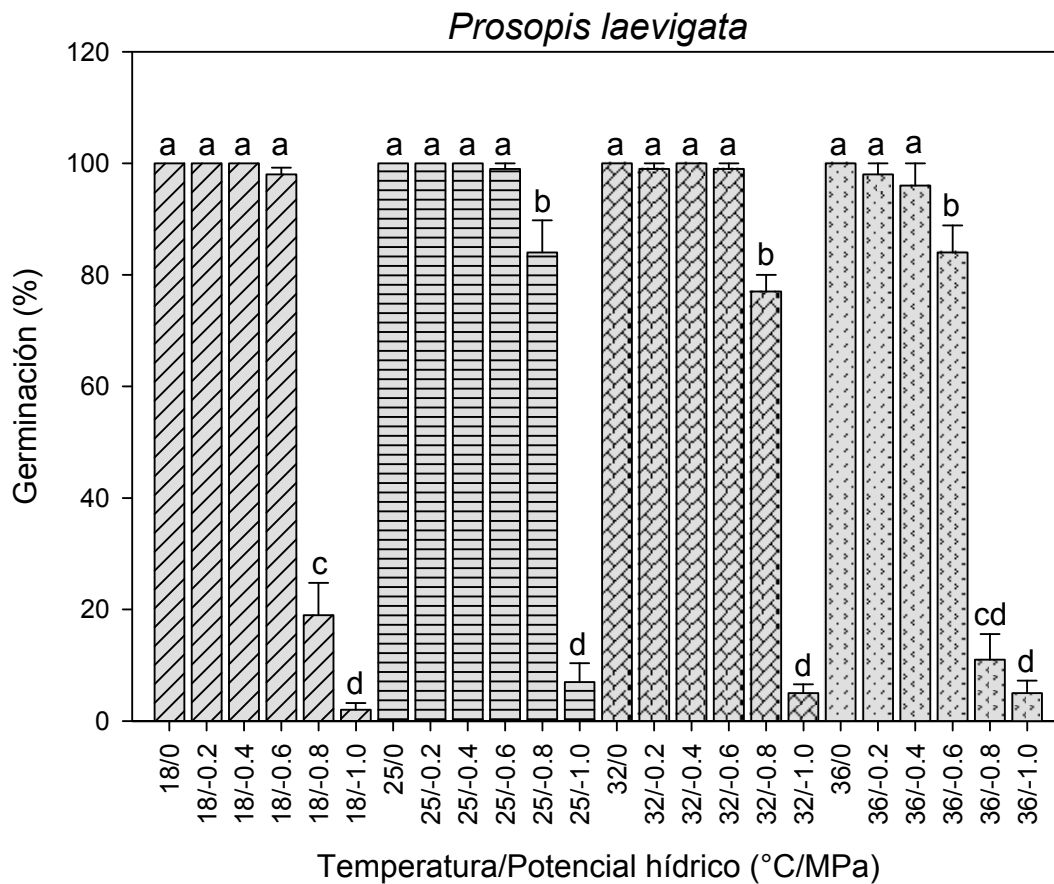
---

## 6. RESULTADOS

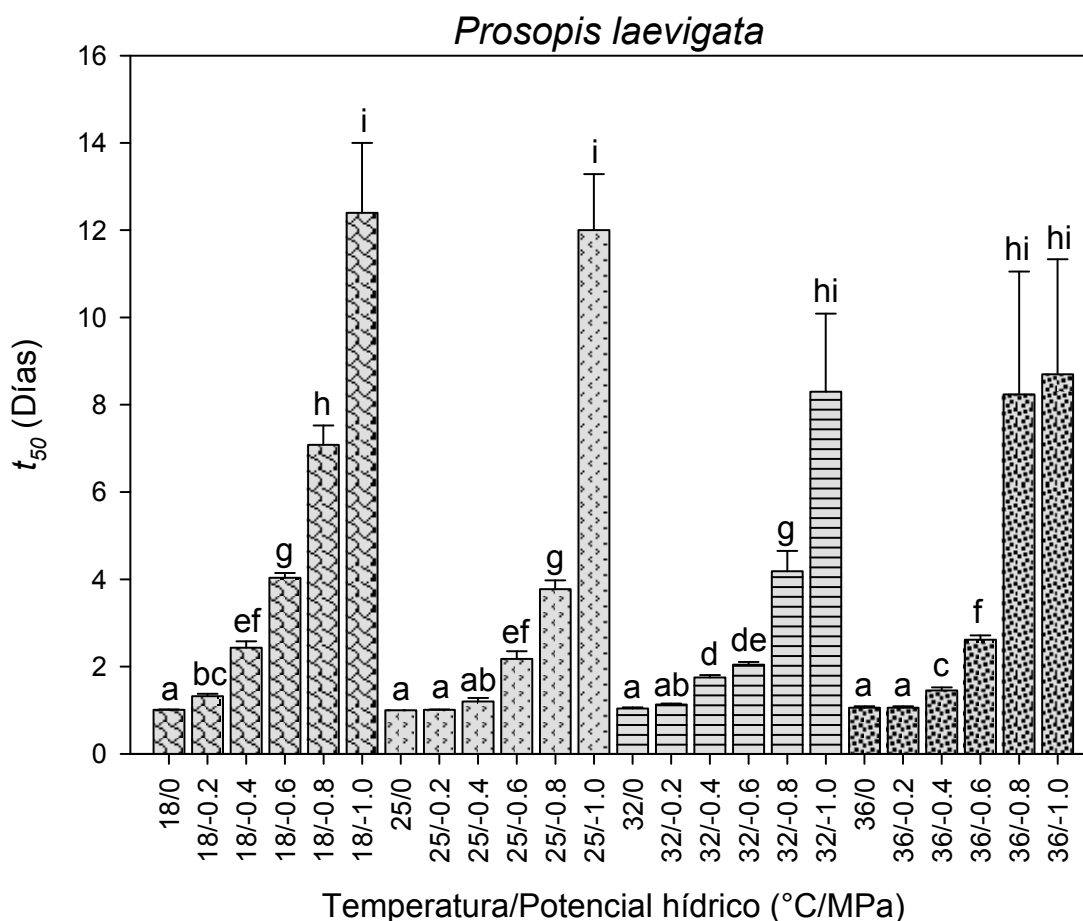
### 6.1 Experimento de germinación I. “Efecto combinado de distintos potenciales hídricos del suelo y temperaturas en la germinación de semillas”

Las semillas de mezquite (*P. laevigata*) germinaron en mayor porcentaje a temperaturas intermedias (25 y 32°C,  $81.67 \pm 6.38\%$  y  $80.0 \pm 6.44\%$ , respectivamente;  $F = 23.70$ ,  $p = 0.0001$ ) y a mayor humedad (99 a 100% en los tres tratamientos con mayor humedad;  $F = 241.37$ ,  $p = 0.0001$ ). La interacción entre temperatura y humedad fue significativa, presentando porcentajes de hasta 100% en todas las temperaturas con potenciales desde 0 hasta -0.6 MPa, excepto este último con 36°C. La germinación fue menor cuando los suelos estuvieron más secos en las cuatro temperaturas ( $F = 10.25$ ,  $p = 0.0001$ ; Figura 11; Tabla 4).

Las semillas germinaron más lento a 18°C ( $4.71 \pm 0.78$  días) y más rápido a 32°C ( $3.07 \pm 0.55$  días;  $F = 66.70$ ,  $p = 0.0001$ ). También germinaron más lento a -1.0 MPa ( $10.35 \pm 0.97$  días) y más rápido a 0 MPa ( $1.03 \pm 0.01$  días;  $F = 320.51$ ,  $p = 0.0001$ ). En las interacciones de tratamientos, la germinación fue más lenta a 18°C/0 MPa; 25°C/0, -0.2 y -0.4 MPa; 32°C/0 y -0.2 MPa; y 36°C/0 y -0.2 MPa (c. 1 día) y más rápida (> 8 días) a -1.0 MPa en combinación con las cuatro temperaturas ( $F = 5.75$ ,  $p = 0.0001$ ; Figura 12; Tabla 4).



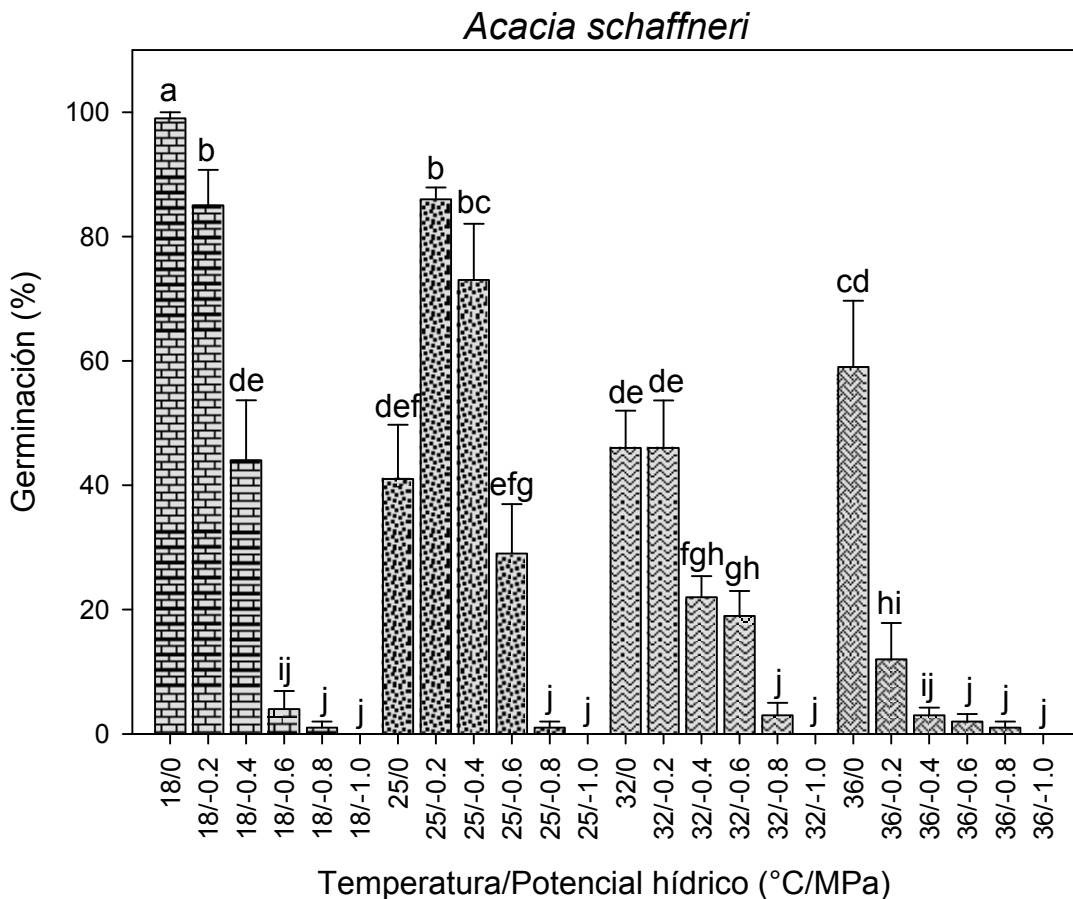
**Figura 11.** Porcentaje de germinación para *Prosopis laevigata* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).



**Figura 12.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Prosopis laevigata* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

El huizache (*A. schaffneri*) disminuyó su porcentaje de germinación conforme aumentó la temperatura; a 18 y 25°C la germinación fue de  $38.83 \pm 7.76\%$  y  $38.33 \pm 6.49\%$  respectivamente, a 32°C germinó  $22.67 \pm 3.80\%$  y a 36°C solo germinaron  $12.83 \pm 4.33\%$ ; ( $F = 35.38$ ,  $p = 0.0001$ ). También disminuyó el porcentaje de germinación conforme hubo menor humedad disponible ( $61.25 \pm 6.26\%$  a 0 MPa,  $69 \pm 7.51\%$  a -0.2 MPa,  $35.5 \pm 6.76\%$  a -0.4 MPa,  $13.5 \pm 3.35\%$  a -0.6 MPa y  $1.5 \pm 0.64\%$  a -0.8 MPa, mientras que a -1.0 MPa no hubo

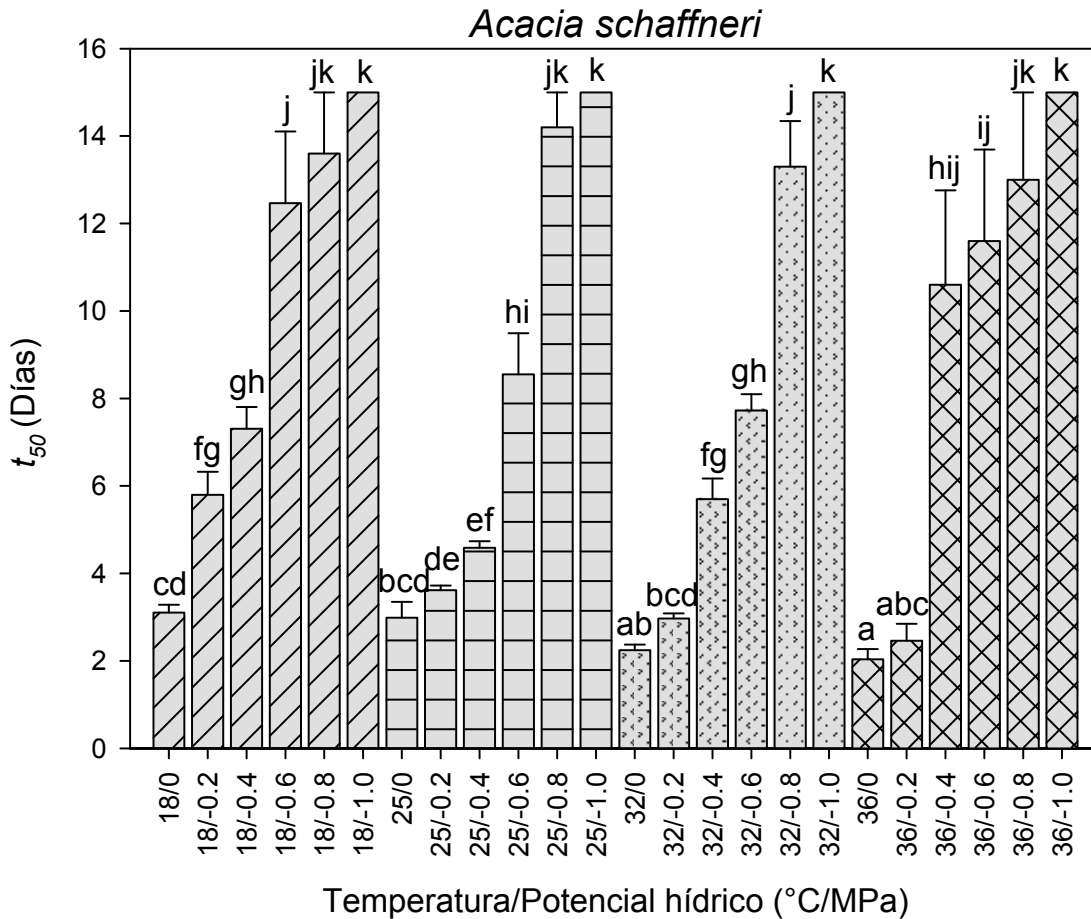
germinación;  $F = 101.89$ ,  $p = 0.0001$ ). La interacción entre temperatura y humedad fue significativa de manera que la germinación fue menor a  $36^{\circ}\text{C}$  en combinación con todos los tratamientos de humedad, excepto con  $0\text{ MPa}$  ( $\leq 12\%$ ). Hubo mayor germinación ( $99\%$ ) a  $18^{\circ}\text{C}$  con  $0\text{ MPa}$  que en los demás tratamientos ( $F = 14.47$ ,  $p = 0.0001$ , Figura 13; Tabla 4).



**Figura 13.** Porcentaje de germinación para *Acacia schaffneri* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

La germinación fue más rápida en los tratamientos de  $25$  y  $32^{\circ}\text{C}$  ( $4.93 \pm 0.55\%$  y  $4.66 \pm 0.52$  días, respectivamente) que en los demás tratamientos de

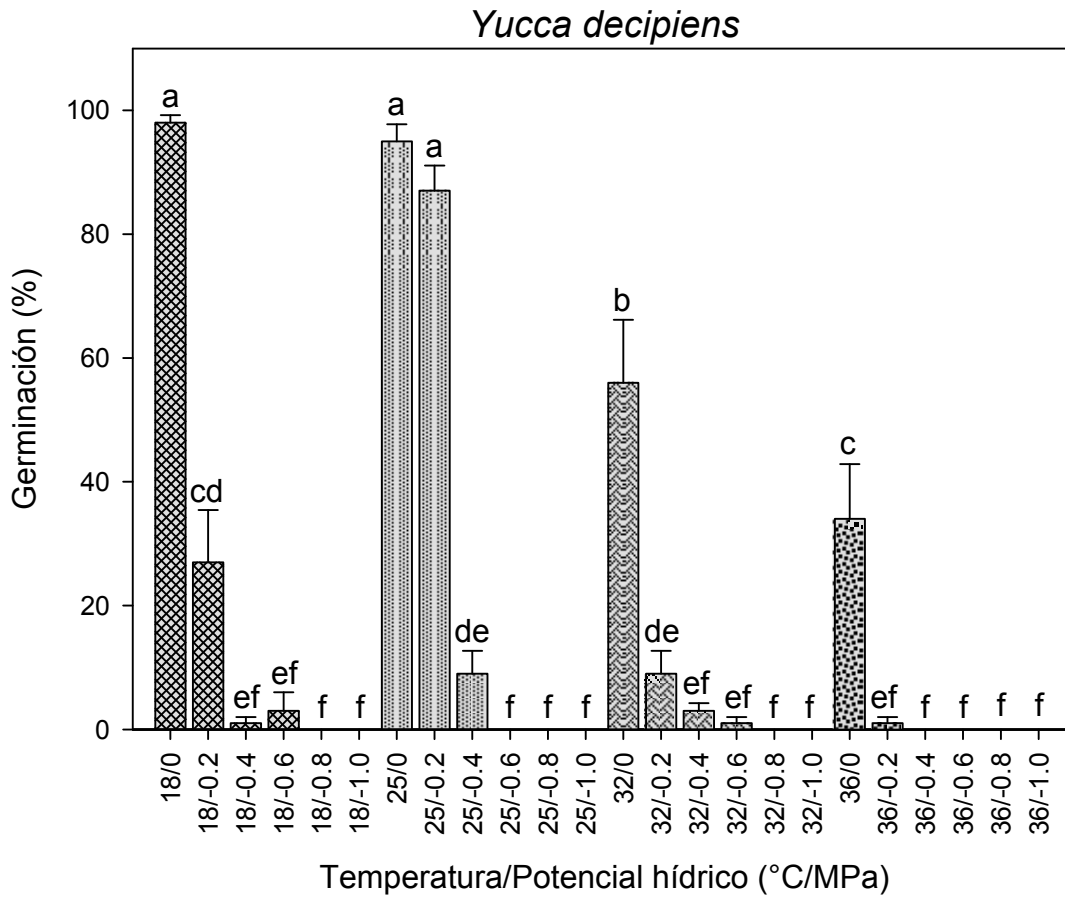
temperatura ( $F = 10.00$ ,  $p = 0.0001$ ). También fue más rápida en el tratamiento con mayor disponibilidad de humedad (0 MPa) que en los otros tratamientos de humedad, germinando a los  $2.59 \pm 0.15$  días ( $F = 110.46$ ,  $p = 0.0001$ ). En la interacción de ambos factores, la germinación fue más rápida con altas temperaturas y alta humedad ( $32^\circ\text{C}/0$  MPa y  $36^\circ\text{C}/0$  y  $-0.2$  MPa), con valores entre 2.04 y 2.46 días; en cambio, fue más lenta ( $> 13$  días) en los tratamientos con menor humedad ( $-0.8$  y  $-1.0$  MPa) en todas las temperaturas ( $F = 5.01$ ,  $p = 0.0001$ ; Figura 14; Tabla 4).



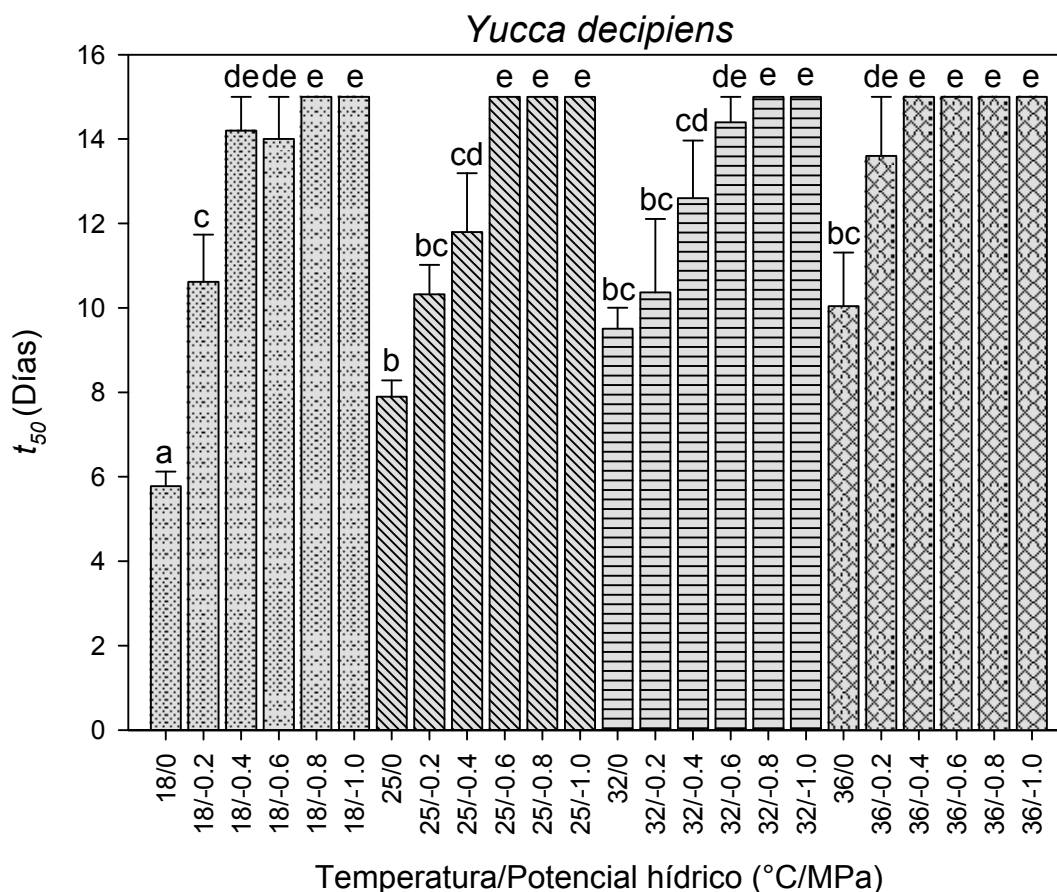
**Figura 14.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Acacia schaffneri* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

La palma china (*Y. decipiens*) tuvo un menor porcentaje de germinación en las temperaturas altas ( $F = 42.00$ ,  $p = 0.0001$ ), germinando  $21.50 \pm 6.74\%$  y  $31.83 \pm 7.86\%$  a 18 y 25°C, respectivamente, mientras que a 32°C germinó  $11.50 \pm 4.09\%$  y a 36°C solamente  $5.83 \pm 2.70\%$ . También disminuyó su germinación con menor humedad en el suelo ( $F = 79.50$ ,  $p = 0.0001$ ), siendo de  $70.75 \pm 6.94\%$  a 0 MPa,  $39.25 \pm 8.07\%$  a -0.2 MPa,  $3.25 \pm 1.22\%$  a -0.4 MPa,  $1 \pm 0.78\%$  a -0.6 MPa, y 0% en los tratamientos de -0.8 y -1.0 MPa. La interacción entre temperatura y humedad fue significativa ( $F = 8.91$ ,  $p = 0.0001$ ; Tabla 4), con una mayor germinación (hasta 98%) en las dos temperaturas más bajas y con mayor humedad disponible (18°C/0 MPa y 25°C/0 y -0.2 MPa) que en los demás tratamientos. La germinación en los tratamientos de humedad expuestos a 36°C fue baja ó nula (Figura 15).

La germinación de la palma china fue más lenta en la temperatura más alta (36°C), con un valor de  $13.94 \pm 0.44$  días, mientras que en las tres temperaturas restantes la germinación fue más rápida ( $12.43 \pm 0.67$ ,  $12.50 \pm 0.56$  y  $12.81 \pm 0.54$  días a 18, 25 y 32°C, respectivamente;  $F = 4.99$ ,  $p = 0.0041$ ). También fue más rápida con mayor disponibilidad de humedad ( $8.31 \pm 0.51$  días en 0 MPa) y más lenta en los demás tratamientos ( $11.23 \pm 0.67$  días,  $13.40 \pm 0.56$  días y  $14.60 \pm 0.28$  días, en -0.2, -0.4 y -0.6 MPa, respectivamente;  $F = 21.28$ ,  $p = 0.0001$ ). En los tratamientos de -0.8 y -1.0 MPa no se evaluó el  $t_{50}$  debido a que no hubo germinación. En la combinación de las temperaturas con los potenciales hídricos, la germinación más rápida ocurrió a 18°C con 0 MPa (5.78 días) y fue más lenta conforme el suelo tuvo menor humedad disponible, en todas las temperaturas ( $F = 2.50$ ,  $p = 0.0335$ ; Figura 16; Tabla 4).



**Figura 15.** porcentaje de germinación para *Yucca decipiens* ante diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).



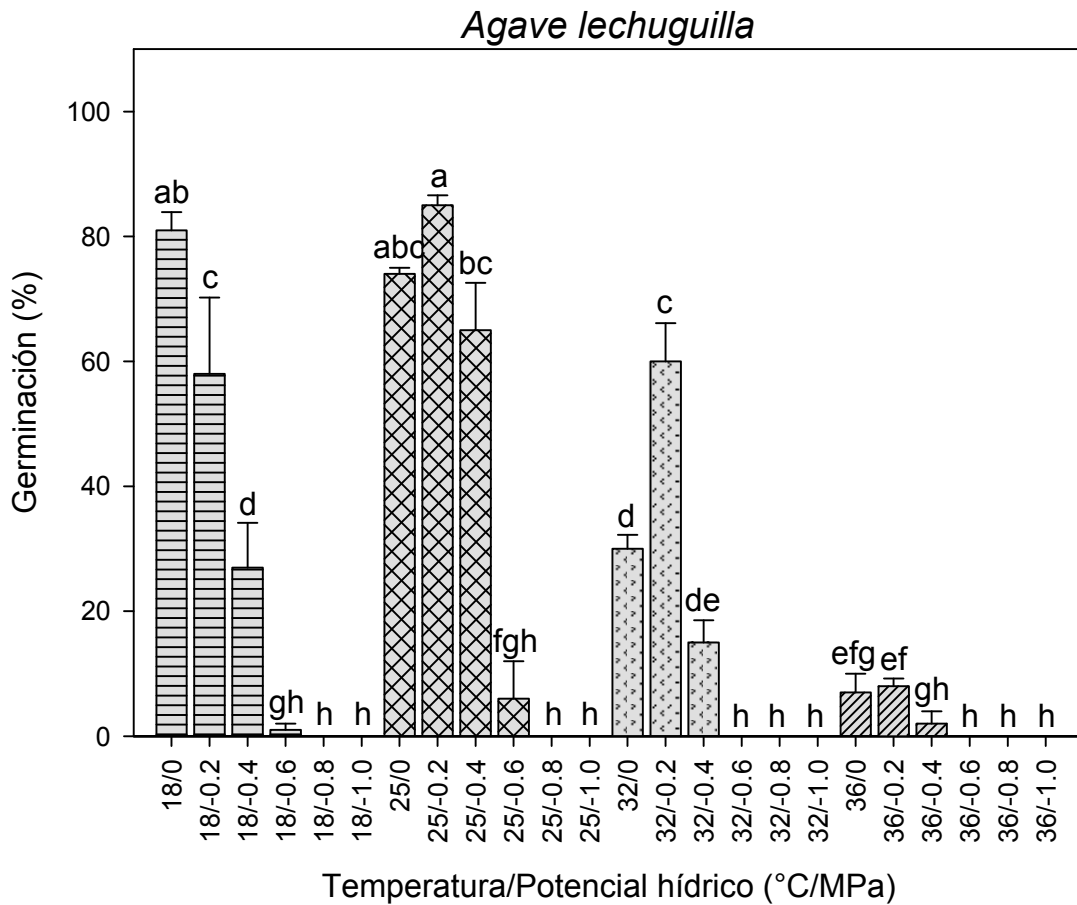
**Figura 16.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Yucca decipiens* ante diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

En el caso de la lechuguilla (*A. lechuguilla*), se encontró que disminuyó el porcentaje de germinación con el aumento de las temperaturas ( $F = 82.31$ ,  $p = 0.0001$ ), germinando  $27.83 \pm 6.27\%$  y  $38.3 \pm 7.0\%$  a  $18^{\circ}\text{C}$  y  $25^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, disminuyendo a  $17.50 \pm 4.23\%$  en  $32^{\circ}\text{C}$  y  $2.83 \pm 0.85\%$  en  $36^{\circ}\text{C}$ . También disminuyó conforme se hizo más seco el suelo ( $F = 90.55$ ,  $p = 0.0001$ ), germinando  $48.0 \pm 7.13\%$  y  $52.5 \pm 7.15\%$  a  $0\text{ MPa}$  y a  $-0.2\text{ MPa}$ , respectivamente, a  $-0.4\text{ MPa}$  la germinación fue de  $27.25 \pm 5.98\%$  y a  $-0.6$  fue de solamente  $1.75 \pm$

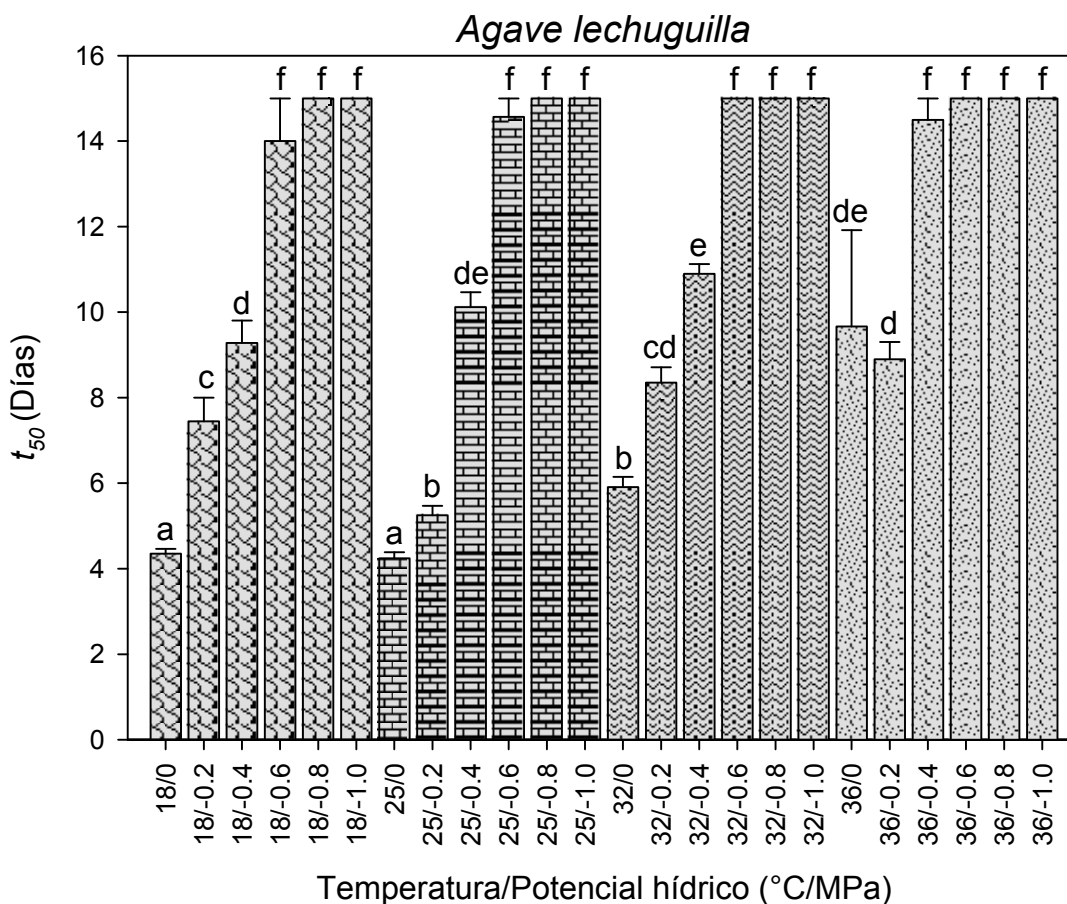


1.51%. En los tratamientos de -0.8 y -1.0 MPa no hubo germinación. En la combinación de temperatura y humedad, se encontró que la mayor germinación (hasta un 85%) ocurrió a 18°C/0 MPa y 25°C con 0 y -0.2 MPa, mientras que la menor germinación se obtuvo en los tratamientos de -0.6, -0.8 y -1.0 MPa en combinación con las cuatro temperaturas ( $F = 3.87$ ,  $p = 0.0017$ ; Tabla 4). Además, esta especie germinó en menor porcentaje a 36°C en todos los tratamientos de humedad del suelo, siendo su mayor germinación de 8% solamente (Figura 17).

Con respecto al tiempo medio de germinación de la lechuguilla, conforme aumentó la temperatura la germinación fue más lenta ( $F = 41.39$ ,  $p = 0.0001$ ); a 18°C se tuvo un  $t_{50}$  de  $10.85 \pm 0.75$  días, a 25°C fue de  $10.70 \pm 0.85$  días, a 32°C de  $11.69 \pm 0.67$  días y a 36°C de  $13.01 \pm 0.61$  días. También fue más lenta bajo menor disponibilidad de humedad ( $F = 292.34$ ,  $p = 0.0001$ ); en el tratamiento de 0 MPa se presentó la germinación más rápida para la especie,  $6.04 \pm 0.72$  días, mientras que el resto de los potenciales hídricos mostró germinación más lenta ( $7.49 \pm 0.37$ ,  $11.20 \pm 0.50$  y  $14.64 \pm 0.27$  días para -0.2, -0.4 y -0.6 MPa, respectivamente). En la combinación de ambos factores, la germinación más rápida se encontró a 18 y 25°C bajo la máxima humedad disponible (0 MPa), con un  $t_{50}$  de 4.35 y 4.24 días respectivamente, siendo más rápida que en los demás tratamientos ( $F = 5.89$ ,  $p = 0.0001$ ; Figura 18; Tabla 4).



**Figura 17.** Porcentaje de germinación para *Agave lechuguilla* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

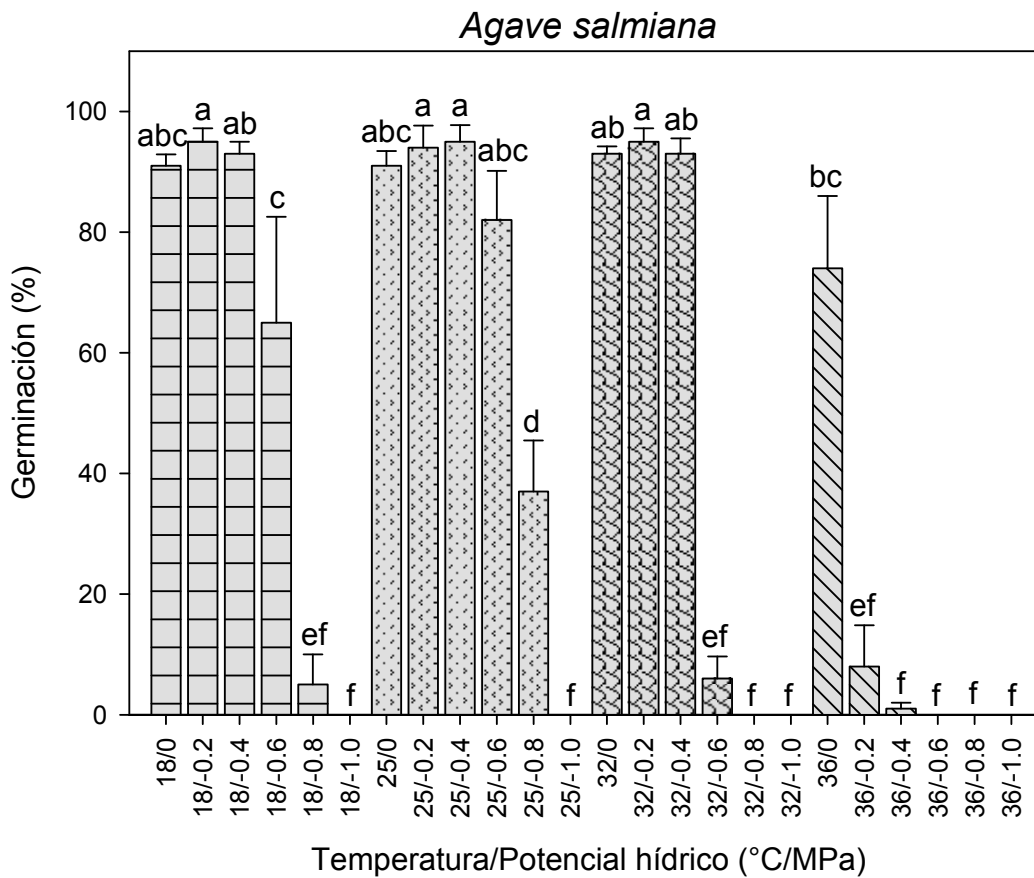


**Figura 18.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Agave lechuguilla* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

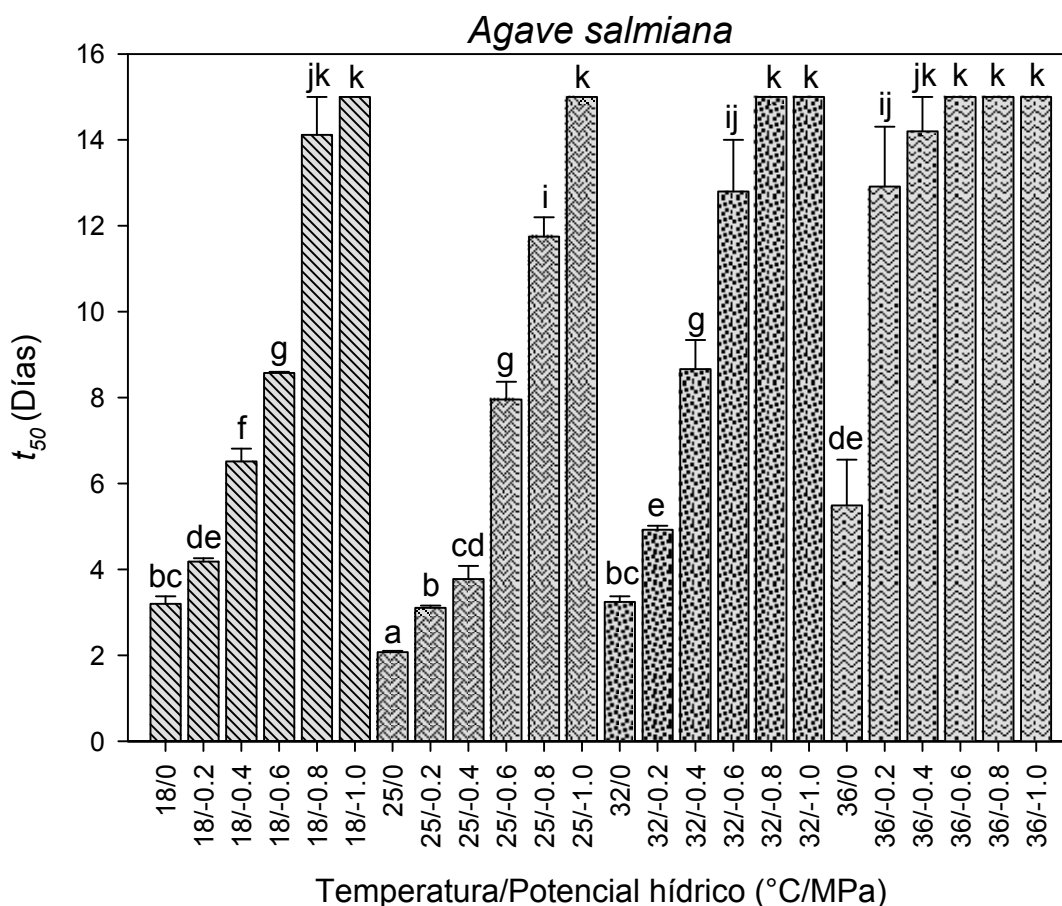
El maguey mezcalero (*Agave salmiana*) disminuyó su porcentaje de germinación con el aumento de las temperaturas ( $F = 68.99$ ,  $p = 0.0001$ ); las temperaturas con mayores porcentajes de germinación fueron 18°C ( $58.17 \pm 8.05\%$ ) y 25°C ( $66.50 \pm 6.93\%$ ), mientras que a 32°C se obtuvo  $47.83 \pm 8.56\%$  y a 36°C  $13.83 \pm 5.44\%$ . También disminuyó la germinación con la disminución de la humedad disponible ( $F = 29.86$ ,  $p = 0.0001$ ). Los mayores porcentajes de germinación alcanzados en los distintos potenciales hídricos se presentaron

cuando estos estuvieron a 0 y -0.2 MPa, logrando germinar  $87.25 \pm 3.35\%$  y  $89.5 \pm 8.82\%$ , respectivamente. En el resto de los potenciales hídricos el porcentaje de germinación fue disminuyendo conforme la disponibilidad de humedad fue bajando ( $70.5 \pm 9.26\%$ ,  $38.25 \pm 9.38\%$  y  $10.5 \pm 4.20\%$  a -0.4, -0.6 y -0.8 MPa, respectivamente). En el tratamiento de -1.0 MPa no se encontró germinación. En la combinación de temperatura y humedad, la mayor germinación (95%) se encontró en los tres tratamientos más húmedos (0, -0.2 y -0.4 MPa) combinados con temperaturas de 18, 25 y 32°C, al igual que el tratamiento a -0.6 MPa combinado con 25°C; mientras que hubo baja o nula germinación ( $\leq 6\%$ ) en los tratamientos con menor disponibilidad de humedad en las cuatro temperaturas (18°C/-0.8 y -1.0 MPa; 25°C/-1.0 MPa; 32°C/-0.6, -0.8 y -1.0 MPa y 36°C/todos los potenciales excepto 0 MPa ( $F = 13.09$ ,  $p = 0.0001$ ; Figura 19; Tabla 4).

La germinación del maguey mezcalero fue más lenta conforme aumentó la temperatura ( $F = 189.35$ ,  $p = 0.0001$ ). La germinación más rápida se presentó a 18°C con  $8.60 \pm 0.86$  días y a 25°C con  $7.28 \pm 0.89$  días, siguiéndoles 32°C con  $9.94 \pm 0.89$  días y finalmente 36°C con  $12.93 \pm 0.70$  días. También fue más lenta por la disminución de la humedad del suelo ( $F = 285.88$ ,  $p = 0.0001$ ). Hubo más rápida germinación a 0 MPa ( $3.50 \pm 0.38$  días), en comparación con el resto de los tratamientos en los cuales la germinación fue más lenta a la par de la disminución de la humedad del suelo ( $6.28 \pm 0.95$  días,  $8.29 \pm 0.92$  días,  $11.08 \pm 0.73$  días y  $13.97 \pm 0.38$  días a -0.2, -0.4, -0.6 y -0.8 MPa, respectivamente); en el tratamiento de -1.0 MPa no hubo germinación. En la combinación de ambos factores, la germinación más rápida (2 días) ocurrió a 25°C con mayor humedad (0 MPa), siendo este significativamente diferente del resto de los tratamientos ( $F = 8.92$ ,  $p = 0.0001$ ; Figura 20; Tabla 4).



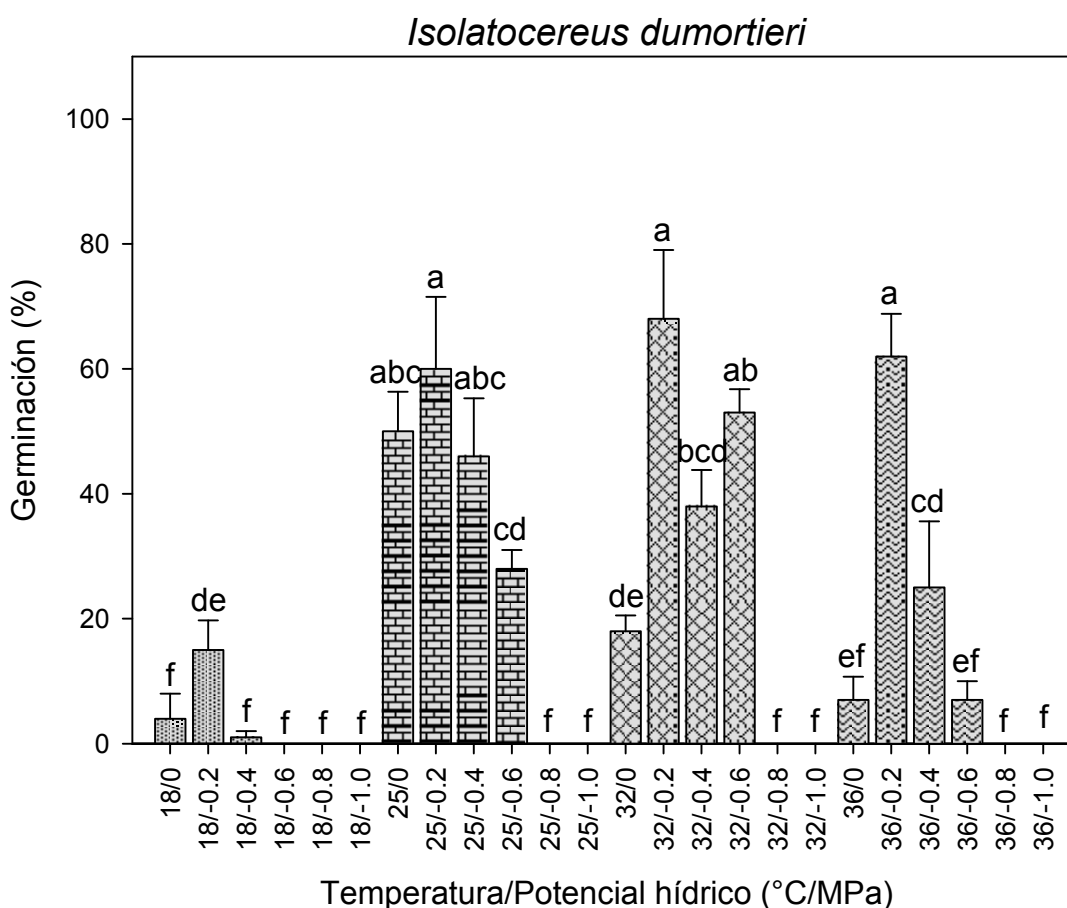
**Figura 19.** Porcentaje de germinación para *Agave salmiana* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).



**Figura 20.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Agave salmiana* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

El pitayo (*I. dumortieri*) mostró mayor porcentaje de germinación en las temperaturas intermedias que en las extremas ( $F = 47.90$ ,  $p = 0.0001$ ); a 25 y 32°C germinó  $30.67 \pm 5.04\%$  y  $29.50 \pm 5.19\%$ , respectivamente, mientras que a 36°C germinó  $16.83 \pm 4.55\%$  y a 18°C germinó  $3.33 \pm 1.38\%$ . También mostró mayor germinación en los tratamientos intermedios de humedad disponible ( $F = 21.51$ ,  $p = 0.0001$ ), al germinar mejor en los tratamientos de -0.2 y -0.4 MPa, con  $37.5 \pm 6.36\%$  y  $27.5 \pm 5.25\%$ , respectivamente; a estos le siguieron el tratamiento de 0 MPa con  $19.75 \pm 4.64\%$  y el de -0.6 MPa con  $22.0 \pm 4.91\%$ . En los

tratamientos de -0.8 y -1.0 MPa no hubo germinación. En la combinación de ambos factores, los tratamientos con porcentajes de germinación más altos (hasta 68%) fueron obtenidos a 25°C/0, -0.2 y -0.4 MPa; 32°C/-0.2 y -0.6 MPa y 36°C/-0.2 MPa ( $F = 3.14$ ,  $p = 0.0035$ ; Tabla 4). Esta especie no germinó en los tratamientos expuestos a poca humedad disponible (-0.8 y -1.0 MPa) en ninguna de las temperaturas (Figura 21).

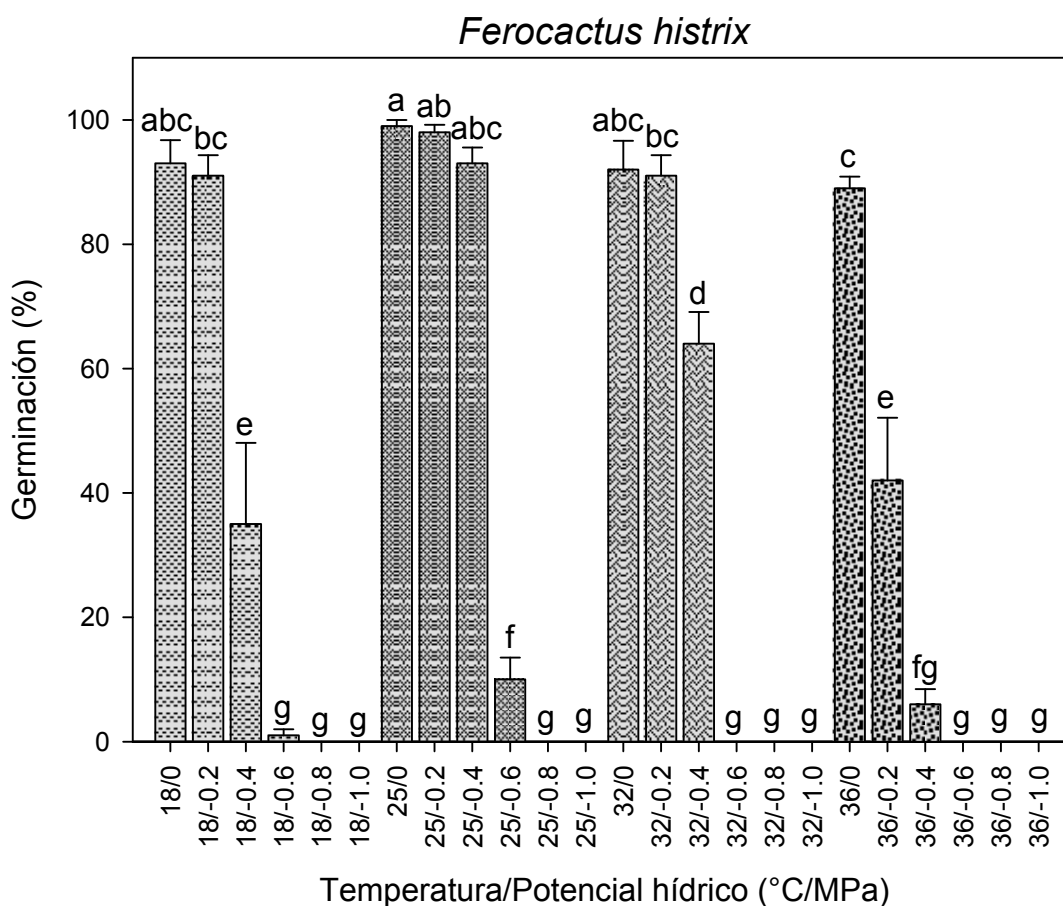


**Figura 21.** Porcentaje de germinación para *Isolatocereus dumortieri* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

La germinación del pitayo fue más rápida con el aumento de la temperatura ( $F = 26.17$ ,  $p = 0.0001$ ). La germinación fue más rápida a 32 y 36°C, con  $9.80 \pm 0.73$  días y  $10.78 \pm 0.84$  días, respectivamente; le siguieron 25°C con  $11.47 \pm 0.52$  días y 18°C con  $13.80 \pm 0.41$  días. También fue más rápida cuando la disponibilidad de humedad fue de -0.2 y -0.4 MPa con  $7.79 \pm 0.52$  días y  $9.14 \pm 0.84$  días, respectivamente ( $F = 9.99$ ,  $p = 0.0001$ ). Por el contrario, los potenciales -0.8 y -1.0 MPa, no lograron germinar durante el experimento, mientras que el resto de los potenciales germinaron a los  $10.34 \pm 0.84$  días y  $11.52 \pm 0.68$  días (0 y -0.6 MPa, respectivamente). La interacción de ambos factores no fue significativa ( $F = 1.60$ ,  $p = 0.1907$ ; Tabla 4).

La biznaga bola (*F. histrix*) presentó menor porcentaje de germinación en el tratamiento de mayor temperatura ( $F = 46.10$ ,  $p = 0.0001$ ). En los tratamientos de 18, 25 y 32°C se encontró  $36.67 \pm 7.91\%$ ,  $50.0 \pm 8.72\%$  y  $41.17 \pm 7.92\%$  respectivamente, mientras que a 36°C la germinación fue de  $22.83 \pm 6.36\%$ . También mostró menor germinación con menor humedad disponible ( $F = 231.27$ ,  $p = 0.0001$ ); en los tratamientos de 0 y -0.2 MPa la germinación fue de  $93.25 \pm 1.67\%$  y  $92.25 \pm 5.75\%$ , respectivamente, mientras que a -0.4 y -0.6 MPa la germinación fue de  $49.5 \pm 8.14\%$  y  $2.75 \pm 1.28\%$ , respectivamente. En los potenciales de -0.8 y -1.0 MPa la germinación nunca ocurrió. En la combinación de temperatura y humedad, la biznaga bola disminuyó su germinación conforme disminuyó la humedad disponible en todas las temperaturas ( $F = 7.10$ ,  $p = 0.0001$ ; Tabla 4), mostrando mayores porcentajes de germinación en los tratamientos combinados de 0 MPa con 18, 25 y 32°C, así como a -0.2 y -0.4 MPa a 25°C, con hasta 99% de germinación (Figura 22). En los potenciales hídricos más negativos (más secos) la germinación no se llevó a cabo.





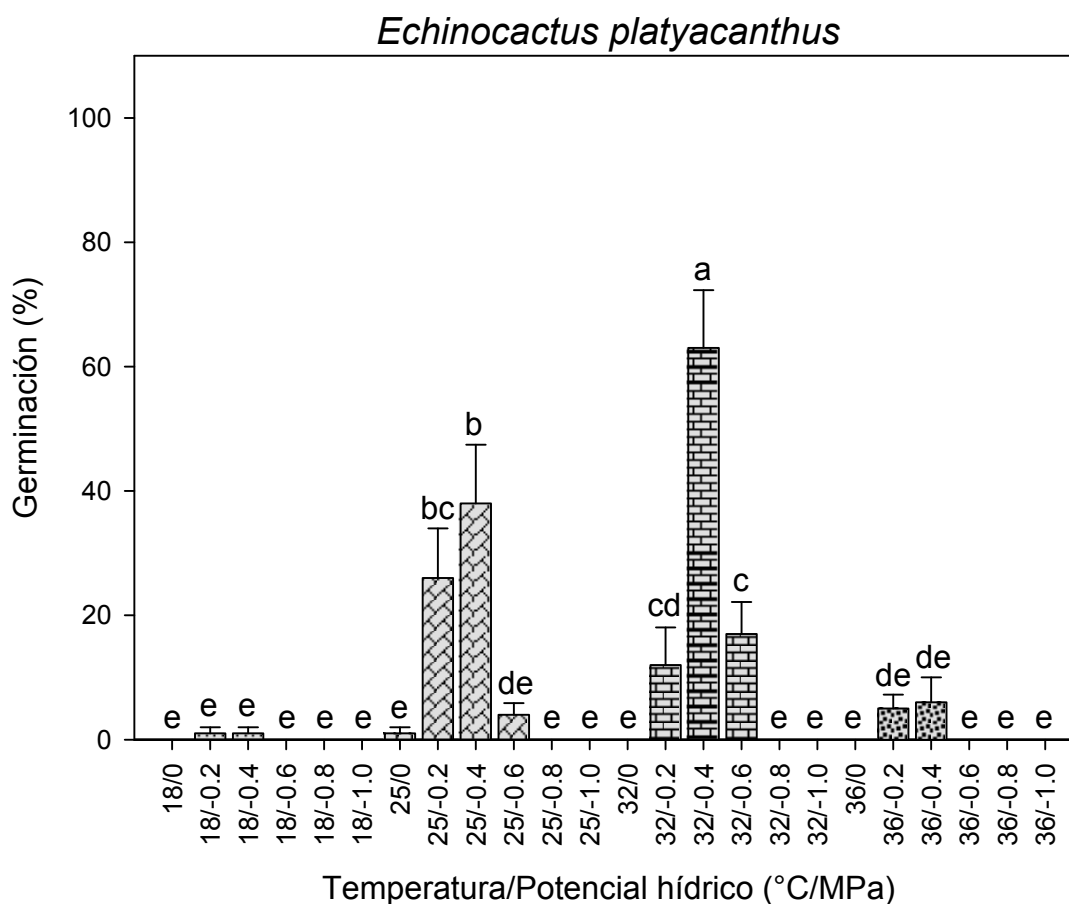
**Figura 22.** Porcentaje de germinación para *Ferocactus histrix* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

La biznaga bola germinó más rápido a 25°C ( $6.81 \pm 0.67$  días) que en las demás temperaturas, en las que germinaron a los  $8.71 \pm 0.80$  días,  $8.23 \pm 0.96$  días y  $8.66 \pm 1.08$  días en los tratamientos de 18, 32 y 36°C, respectivamente ( $F = 15.88$ ,  $p = 0.0001$ ). Además, la germinación fue más lenta con la disminución de la humedad disponible ( $F = 150.42$ ,  $p = 0.0001$ ), encontrando más rápida germinación a 0 MPa con  $4.64 \pm 0.17$  días, mientras que en el resto de los tratamientos fue de  $5.50 \pm 0.19$  días,  $8.42 \pm 0.56$  días y  $13.84 \pm 0.47$  días para -0.2, -0.4 y -0.6 MPa, respectivamente. En los tratamientos de -0.8 y -1.0 MPa no

---

hubo germinación. La interacción de temperatura y humedad no fue significativa ( $F = 1.89$ ,  $p = 0.1002$ ; Tabla 4).

El porcentaje de germinación de la biznaga gigante (*E. platyacanthus*) fue mayor en temperaturas intermedias que en temperaturas extremas ( $F = 30.24$ ,  $p = 0.0001$ ), presentando en general bajo porcentaje de germinación. La mayor germinación fue de tan solo  $11.50 \pm 3.37\%$  y  $15.33 \pm 4.54\%$  en temperaturas de 25 y 32°C, respectivamente. En las dos restantes temperaturas (18 y 36°C), solo se obtuvo  $0.33 \pm 0.23\%$  y  $1.83 \pm 0.85\%$  de germinación, respectivamente. También mostró mayor germinación en un tratamiento intermedio de humedad disponible, -0.4 MPa ( $F = 16.38$ ,  $p = 0.0001$ ), en el cual se encontró  $27.0 \pm 6.59\%$  de germinación. Con alta humedad (0 MPa) la germinación fue de  $0.25 \pm 0.25\%$ , en el tratamiento de -0.2 MPa hubo  $9.75 \pm 3.22\%$  y en el de -0.6 MPa solamente germinó el  $5.25 \pm 2.40\%$ . En los potenciales más negativos (-0.8 y -1.0 MPa) no hubo germinación. Con respecto a la interacción de temperatura y humedad disponible, se observó mayor germinación (63%) en el tratamiento de -0.4 MPa en combinación con 32°C que en los demás tratamientos ( $F = 6.28$ ,  $p = 0.0001$ ; Tabla 4). La germinación fue muy baja ( $\leq 6\%$ ) en los tratamientos de 18 y 36°C combinados con todos los potenciales hídricos. Además, se encontró nula germinación en todos los tratamientos combinados de temperatura con 0 MPa (Figura 23).



**Figura 23.** Porcentaje de germinación para *Echinocactus platyacanthus* en diferentes tratamientos combinados de temperatura-potencial hídrico. Letras diferentes indican diferencias significativas entre interacción de tratamientos ( $p < 0.05$ ).

La germinación de la biznaga gigante fue más rápida en las temperaturas intermedias que en las extremas ( $F = 10.70$ ,  $p = 0.0001$ ). En las temperaturas de 25 y 32°C el tiempo medio de germinación fue de  $12.72 \pm 0.53$  días y  $11.76 \pm 0.71$  días, respectivamente; mientras que a 18°C fue de  $14.70 \pm 0.22$  días y a 36°C fue de  $13.80 \pm 0.52$  días. No se encontraron efectos significativos de la humedad disponible ( $F = 3.04$ ,  $p = 0.0605$ ), ni de la interacción entre temperatura y humedad disponible ( $F = 1.94$ ,  $p = 0.1398$ ; Tabla 4).

**Tabla 4.** Efecto de las variables temperatura, potencial hídrico e interacción de ambos factores, sobre el porcentaje y el tiempo medio de germinación. Variables independientes que no presentaron efectos significativos sobre las variables dependientes (\*).

Especie	Variable dependiente	Variable independiente	Valor F	Valor P
<i>A. schaffneri</i>	%	Temperatura	35.38	0.0001
		Potencial hídrico	101.89	0.0001
		Interacción	14.47	0.0001
	$t_{50}$	Temperatura	10.00	0.0001
		Potencial hídrico	110.46	0.0001
		Interacción	5.01	0.0001
<i>A. lechuguilla</i>	%	Temperatura	82.31	0.0001
		Potencial hídrico	90.55	0.0001
		Interacción	3.87	0.0017
	$t_{50}$	Temperatura	41.39	0.0001
		Potencial hídrico	292.34	0.0001
		Interacción	5.89	0.0001
<i>A. salmiana</i>	%	Temperatura	68.99	0.0001
		Potencial hídrico	29.86	0.0001
		Interacción	13.09	0.0001
	$t_{50}$	Temperatura	189.35	0.0001
		Potencial hídrico	285.88	0.0001
		Interacción	8.92	0.0001
<i>E. platyacanthus</i>	%	Temperatura	30.24	0.0001
		Potencial hídrico	16.38	0.0001
		Interacción	6.28	0.0001
	$t_{50}$	Temperatura	10.70	0.0001
		Potencial hídrico	3.04	0.0605 *
		Interacción	1.94	0.1398 *
<i>F. histrix</i>	%	Temperatura	46.10	0.0001
		Potencial hídrico	231.27	0.0001
		Interacción	7.10	0.0001
	$t_{50}$	Temperatura	15.88	0.0001
		Potencial hídrico	150.42	0.0001
		Interacción	1.89	0.1002 *
<i>I. dumortieri</i>	%	Temperatura	47.90	0.0001
		Potencial hídrico	21.51	0.0001
		Interacción	3.14	0.0035

**Tabla 4.** Efecto de las variables temperatura, potencial hídrico e interacción de ambos factores, sobre el porcentaje y el tiempo medio de germinación. Variables independientes que no presentaron efectos significativos sobre las variables dependientes (\*).

Espece	Variable dependiente	Variable independiente	Valor <i>F</i>	Valor <i>P</i>
	$t_{50}$	Temperatura	26.17	0.0001
		Potencial hídrico	9.99	0.0001
		Interacción	1.60	0.1907 *
<i>P. laevigata</i>	%	Temperatura	23.70	0.0001
		Potencial hídrico	241.37	0.0001
		Interacción	10.25	0.0001
	$t_{50}$	Temperatura	66.70	0.0001
		Potencial hídrico	320.51	0.0001
		Interacción	5.75	0.0001
<i>Y. decipiens</i>	%	Temperatura	42.00	0.0001
		Potencial hídrico	79.50	0.0001
		Interacción	8.91	0.0001
	$t_{50}$	Temperatura	4.99	0.0041
		Potencial hídrico	21.28	0.0001
		Interacción	2.50	0.0335

## 6.2 Experimentos de germinación II. “Evaluación de la tolerancia de semillas a la exposición a altas temperaturas”

En este experimento no se encontraron efectos significativos de los factores temperatura, tiempo de exposición a las temperaturas e interacción entre ambos factores, para el porcentaje de germinación de seis especies (*Prosopis laevigata*, *Acacia schaffneri*, *Agave lechuguilla*, *Agave salmiana*, *Ferocactus hirtix* y *Echinocactus platyacanthus*;  $p > 0.05$ ; Tabla 5). Tampoco se obtuvieron diferencias para el tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) de los mismos factores para cuatro especies (*Acacia schaffneri*, *Agave lechuguilla*, *Isolatocereus dumortieri* y *Echinocactus platyacanthus*;  $p > 0.05$ ; Tabla 5).

**Tabla 5.** Efectos en el porcentaje y tiempo medio de germinación de la temperatura y el tiempo de exposición a calor en semillas de especies que no presentaron efectos significativos de ninguna de las variables independientes (factores), ni de su interacción.

Especie	Variable dependiente	Variable independiente	Valor <i>F</i>	Valor <i>p</i>
<i>A. schaffneri</i>	%	Temperatura	0.71	0.4105
		Tiempo	0.00	1.0000
		Interacción	0.56	0.4629
	$t_{50}$	Temperatura	3.85	0.0638
		Tiempo	0.82	0.3756
		Interacción	1.97	0.1763
<i>A. lechuguilla</i>	%	Temperatura	2.21	0.1529
		Tiempo	0.95	0.3418
		Interacción	0.13	0.7205
	$t_{50}$	Temperatura	0.03	0.8615
		Tiempo	3.18	0.0896
		Interacción	0.00	0.9954
<i>E. platyacanthus</i>	%	Temperatura	0.21	0.6538
		Tiempo	3.43	0.0790
		Interacción	2.36	0.1400
	$t_{50}$	Temperatura	0.00	0.9864
		Tiempo	1.41	0.2496
		Interacción	0.20	0.6575

**Tabla 5.** Efectos en el porcentaje y tiempo medio de germinación de la temperatura y el tiempo de exposición a calor en semillas de especies que no presentaron efectos significativos de ninguna de las variables independientes (factores), ni de su interacción.

Especie	Variable dependiente	Variable independiente	Valor <i>F</i>	Valor <i>p</i>
<i>A. salmiana</i>	%	Temperatura	0.56	0.4636
		Tiempo	0.12	0.7368
		Interacción	0.84	0.3727
<i>F. histrix</i>	%	Temperatura	1.90	0.1844
		Tiempo	0.48	0.4954
		Interacción	0.03	0.8572
<i>P. laevigata</i>	%	Temperatura	0.00	1.0000
		Tiempo	0.00	1.0000
		Interacción	0.00	1.0000
<i>I. dumortieri</i>	<i>t</i> <sub>50</sub>	Temperatura	2.58	0.1250
		Tiempo	0.07	0.7934
		Interacción	0.59	0.4514

En el caso del mezquite (*P. laevigata*), se encontró 100% de germinación en todos los tratamientos. El *t*<sub>50</sub> no fue afectado significativamente por las altas temperaturas ( $F = 0.89$ ,  $p = 0.3557$ ), ni por la interacción entre altas temperaturas y el tiempo de exposición ( $F = 0.20$ ,  $p = 0.6571$ ), pero sí por el tiempo de exposición ( $F = 8.49$ ,  $p = 0.0086$ ; Tabla 6). La germinación más rápida se observó en el tratamiento control ( $1.03 \pm 0.01$  días) y en las semillas expuestas durante dos semanas ( $1.01 \pm 0.01$  días), mientras que en las semillas expuestas durante una semana fue de  $1.07 \pm 0.02$  días.

El huizache (*A. schaffneri*) alcanzó un máximo de 96% de semillas germinadas y un mínimo de 84% con *t*<sub>50</sub> de 3.33 a 3.67 días. La lechuguilla (*A. lechuguilla*) germinó entre 76 y 88%, con *t*<sub>50</sub> de 4.94 a 5.25 días; mientras que la biznaga gigante (*E. platyacanthus*) fue la especie con menor porcentaje de germinación y con mayor *t*<sub>50</sub>, teniendo un mínimo de 28% y un máximo de 58% con *t*<sub>50</sub> desde los 9.65 días hasta los 9.82 días. Para estas tres especies no se

registraron efectos significativos de los factores evaluados y sus interacciones sobre el porcentaje de germinación y el tiempo medio de germinación (Tabla 5).

Para el maguey mezcalero (*A. salmiana*) no se encontraron efectos significativos de los factores, ni de sus interacciones en el porcentaje de germinación (Tabla 5), presentando porcentajes de 96 a 98%. Sin embargo; en el caso del  $t_{50}$  la germinación más rápida se presentó a 40°C, con  $2.82 \pm 0.02$  días, mientras que en el control ( $2.96 \pm 0.02$  días) y a 70°C ( $3.05 \pm 0.04$  días) la germinación fue más lenta ( $F = 34.86$ ,  $p = 0.0001$ ; Tabla 6).

El pitayo (*I. dumortieri*) mostró menor porcentaje de germinación en el pre-tratamiento de mayor temperatura ( $F = 76.83$ ,  $p = 0.0001$ ; Tabla 6), germinando  $37.0 \pm 4.78\%$  a 70°C,  $77.0 \pm 8.60\%$  en el control y  $78.5 \pm 7.30\%$  en las expuestas a 40°C. También presentó mayor germinación cuando las semillas no recibieron ningún periodo de exposición (control,  $77.0 \pm 8.60\%$ ), así como en las que fueron expuestas durante dos semanas ( $69.0 \pm 7.30\%$ ), ya que las expuestas durante una semana germinaron  $46.5 \pm 9.52\%$  ( $F = 10.06$ ,  $p = 0.0053$ ; Tabla 6). La interacción de estos dos factores no fue significativa ( $F = 0.63$ ,  $p = 0.4368$ ; Tabla 5).

Para el pitayo, en la variable  $t_{50}$  no se encontraron efectos significativos de ninguno de los dos factores (pre-tratamientos a altas temperaturas  $F = 2.58$ ,  $p = 0.1250$ ; tiempos de exposición  $F = 0.07$ ,  $p = 0.7934$ ), así como tampoco de la interacción de ambos factores ( $F = 0.59$ ,  $p = 0.4514$ ; Tabla 5), presentando en esta interacción tiempos medios de germinación desde los 8.37 días hasta 9.63 días.

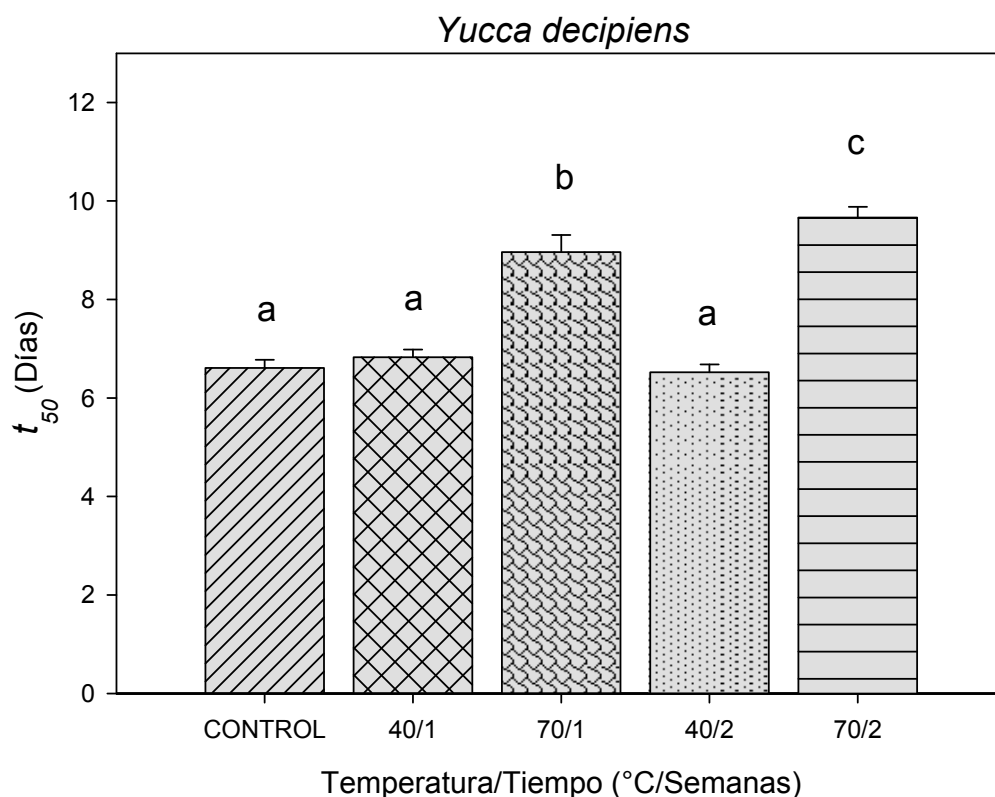
El porcentaje de germinación de la palma china (*Y. decipiens*) no fue afectado significativamente por el tiempo de exposición a altas temperaturas ( $F = 0.18$ ,  $p = 0.6727$ ), ni por la interacción de los dos factores evaluados ( $F = 1.73$ ,  $p = 0.2033$ ). Sin embargo, fue afectado por la exposición a altas temperaturas ( $F =$



---

76.09,  $p = 0.0001$ ; Tabla 6); la germinación fue menor en el pre-tratamiento de 70°C ( $51.0 \pm 5.57\%$ ), que en el control ( $98.0 \pm 2.0\%$ ) y que a 40°C ( $96 \pm 1.45\%$ ).

El  $t_{50}$  en semillas de la palma china (*Y. decipiens*) no fue afectado por los tiempos de exposición ( $F = 0.57$ ,  $p = 0.4574$ ), pero sí por los pre-tratamientos a altas temperaturas ( $F = 143.11$ ,  $p = 0.0001$ ; Tabla 6), mostrando más rápida germinación en el tratamiento control ( $6.61 \pm 0.17$  días) y en las pre-tratadas a 40°C ( $6.67 \pm 0.12$  días), que en las expuestas a 70°C ( $9.31 \pm 0.03$  días). En la combinación de tiempos de exposición con altas temperaturas, germinaron más lento las semillas expuestas a 70°C durante una (8.96 días) y dos semanas (9.66 días) que las semillas en el control y a 40°C durante una y dos semanas ( $\leq 6.83$  días; Figura 24; Tabla 6).

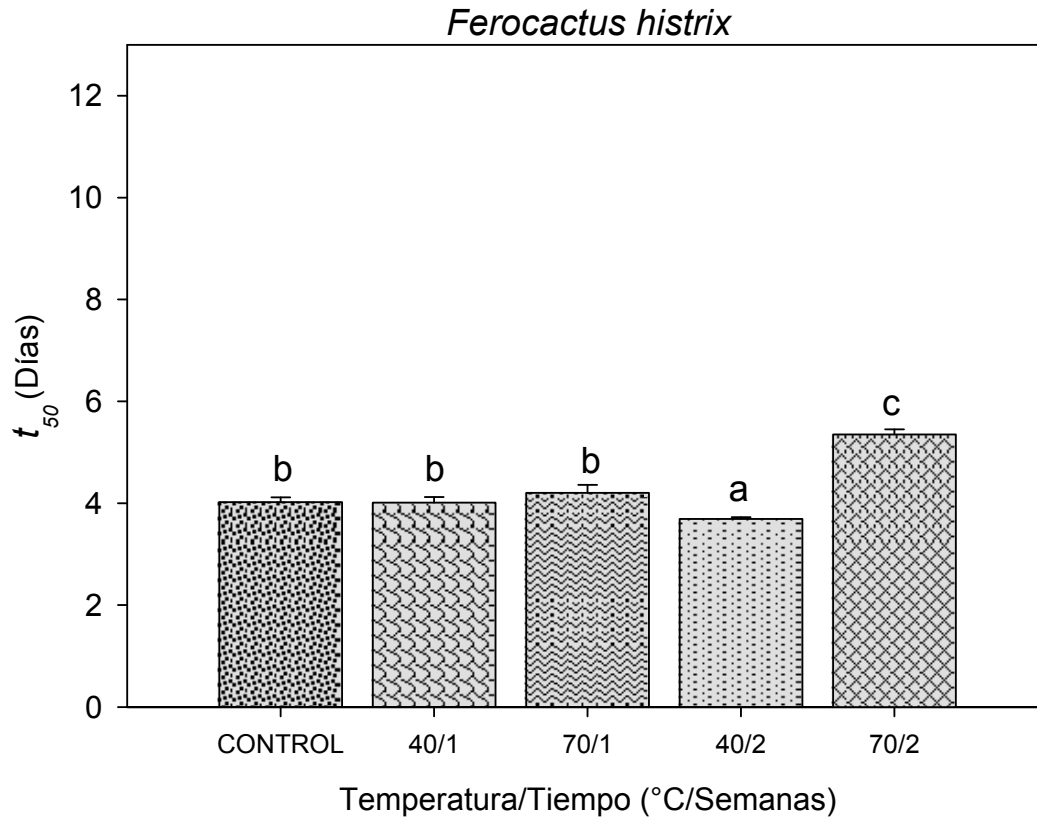


**Figura 24.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Yucca decipiens* en diferentes tratamientos combinados de pre-tratamientos a altas temperaturas durante distintas semanas ( $p < 0.05$ ).

El porcentaje de germinación de la biznaga bola (*F. histrix*) no fue afectado de manera significativa por los pre-tratamientos de altas temperaturas ( $F = 1.90$ ,  $p = 0.1844$ ), ni por los tiempos de exposición a las mismas ( $F = 0.48$ ,  $p = 0.4954$ ). Tampoco fue afectado por la interacción de ambos factores ( $F = 0.03$ ,  $p = 0.8572$ ; Tabla 5), presentando en la interacción de ambos factores germinación desde 93% hasta 98%.

---

La germinación de la biznaga bola fue más lenta ( $4.78 \pm 0.21$  días) con la exposición a  $70^{\circ}\text{C}$  ( $F = 74.09$ ;  $p = 0.0001$ ), mientras que en las control y las expuestas a  $40^{\circ}\text{C}$  la germinación fue más rápida ( $4.02 \pm 0.09$  días y  $3.85 \pm 0.08$  días, respectivamente). También fue más lenta por el mayor tiempo de exposición ( $F = 13.04$ ,  $p = 0.0017$ ), ya que las semillas expuestas durante dos semanas fueron las que tardaron más en germinar ( $4.52 \pm 0.28$  días), en comparación con el control ( $4.02 \pm 0.09$  días) y con las semillas expuestas durante una semana ( $4.11 \pm 0.10$  días). En la combinación de ambos factores, hubo germinación más lenta (5.35 días) en las semillas expuestas a  $70^{\circ}\text{C}$  por un periodo de dos semanas ( $F = 45.76$ ,  $p = 0.0001$ ; Tabla 6), mientras la germinación fue más rápida con la exposición a  $40^{\circ}\text{C}$  por dos semanas (3.69 días). El resto de los tratamientos combinados presentaron  $t_{50}$  desde 4.01 hasta 4.21 días (Figura 25).



**Figura 25.** Tiempo medio de germinación ( $t_{50}$ ) para *Ferocactus histrix* en diferentes tratamientos combinados de pre-tratamientos a altas temperaturas durante distintas semanas ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 6.** Efecto de las variables temperatura, tiempo de exposición e interacción de ambos factores, sobre el porcentaje y el tiempo medio de germinación. Variables independientes que no presentaron efectos significativos sobre las variables dependientes (\*).

Especie	Variable dependiente	Variable independiente	Valor <i>F</i>	Valor <i>p</i>
<i>I. dumortieri</i>	%	Temperatura	76.83	0.0001
		Tiempo	10.06	0.0053
		Interacción	0.63	0.4368 *
<i>A. salmiana</i>	$t_{50}$	Temperatura	34.86	0.0001
		Tiempo	4.43	0.0481 *
		Interacción	1.26	0.2749 *
<i>F. histris</i>	$t_{50}$	Temperatura	74.09	0.0001
		Tiempo	13.04	0.0017
		Interacción	45.76	0.0001
<i>P. laevigata</i>	$t_{50}$	Temperatura	0.89	0.3557 *
		Tiempo	8.49	0.0086
		Interacción	0.20	0.6571 *
<i>Y. decipiens</i>	%	Temperatura	76.09	0.0001
		Tiempo	0.18	0.6727 *
		Interacción	1.73	0.2033 *
	$t_{50}$	Temperatura	143.11	0.0001
		Tiempo	0.57	0.4574 *
		Interacción	5.06	0.0359

---

## 7. DISCUSIÓN

### *“Efecto combinado de distintos potenciales hídricos del suelo y temperaturas en la germinación de semillas”*

Los resultados encontrados en la mayoría de las especies aquí estudiadas demostraron disminución en la germinación, así como germinación más lenta, ante condiciones que simulan un cambio climático. El mezquite (*P. laevigata*) fue la especie con mayor porcentaje de germinación (100%) en un amplio número de tratamientos. Esta especie presentó como mejor condiciones para su germinación la combinación de 18, 25 y 32°C con potenciales hídricos de 0, -0.2, -0.4 y -0.6 MPa, así como a 36°C con 0, -0.2 y -0.4 MPa, con  $t_{50}$  de alrededor de 1 día, siendo así esta especie la de mayor posibilidad para germinar ante los cambios climáticos esperados.

Estos resultados coinciden con Villalobos & Peláez (2001), ya que ellos encontraron que las semillas de *Prosopis caldenia* germinan hasta 100% a temperaturas constantes de 20, 25, 30, 35°C y alternante 30/15°C, combinadas con 0, -0.25, -0.50 y hasta -0.75 MPa. También encontraron mayor tolerancia a potenciales de -1.0 MPa en temperaturas de 25 y 30°C con germinación de hasta 99%, mientras que para *P. laevigata* en el mismo potencial (-1.0 MPa) con temperaturas de 18, 25, 32 y 36°C la germinación fue mucho menor, con un máximo de 7%. Esta diferencia sugiere que las semillas de *P. caldenia* sean más tolerantes a la sequía que las de *P. laevigata*. Flores & Briones (2001), encontraron mayor porcentaje de germinación también en *P. laevigata*, cuando los potenciales estuvieron entre -0.41 y -0.66 MPa (100 y 92% respectivamente) y  $t_{50}$  de 1 día a -0.41 MPa, coincidiendo con mis resultados, ya que también se alcanzaron porcentajes de hasta 100% en potenciales de 0 hasta -0.4 MPa, así como  $t_{50}$  de alrededor de 1 día. Por otra parte, dichos autores encontraron altos porcentajes de germinación (100%) a temperaturas de 12 a 26°C, con germinación

rápida (1.4 días) a 20 y 26°C, también coincidiendo con lo que encontramos en este estudio, alcanzando 100% de germinación a 18 y 25°C y  $t_{50}$  de alrededor de 1 día.

Cinco de las especies estudiadas, *Acacia schaffneri*, *Yucca decipiens*, *Agave salmiana*, *Agave lechuguilla* y *Ferocactus histrix*, tuvieron comportamientos muy similares entre ellas, ya que alcanzaron sus mayores porcentajes de germinación con temperaturas de 18, 25 y 32°C combinadas con potenciales de entre 0 y -0.2 MPa, mientras que en el resto de los tratamientos de suelos más secos, la germinación se vio afectada negativamente. El mismo patrón se encontró para los  $t_{50}$  de estas especies, con germinación más rápida en suelos más húmedos y más lenta en los suelos más secos para las cuatro temperaturas. Este resultado sugiere que estas especies no serían capaces de tolerar las altas temperaturas ni las sequías extremas esperadas debido al cambio climático; sin embargo, sí son capaces de germinar adecuadamente en condiciones óptimas actuales, donde las temperaturas extremas no rebasan los 32°C y en condiciones de alta humedad.

De las especies anteriores, solamente *A. salmiana* fue una especie resistente hasta potenciales de -0.4 MPa, obteniendo porcentajes altos (95%), a diferencia de las otras especies en las que la germinación disminuyó en suelos más secos. El resultado encontrado para *F. histrix* es similar al obtenido por Zimmer (1980), quien encontró que esta especie germinó mejor a temperaturas entre 15 y 30°C, con  $t_{50}$  de 5 días.

Especies desérticas, como las del desierto Cairo-Suez (*Retama reatam*, *Ononis serrata* y *Mesembryanthemum crystallinum*) mostraron mejor germinación en potenciales hídricos de -0.1 hasta -0.4 MPa, disminuyendo su germinación rápidamente con potenciales de -0.6 a -1.0 MPa (Mohamed, 2009), siguiendo la misma tendencia que mostraron en este estudio *P. laevigata* y *A. salmiana*.

El efecto de la temperatura en la germinación de *A. schaffneri* (mayor germinación a 18°C con 0 MPa), es distinto a lo obtenido por Everitt (1983), quien encontró que las mejores temperaturas para la germinación de esta especie (al sur de Texas) fluctúan entre 15 y 35°C. Sin embargo; el efecto de la humedad es similar, disminuyendo la germinación en suelos con menor disponibilidad de agua. La diferencia por efecto de la temperatura entre los resultados de Everitt (1983) y los de este estudio pueden deberse al efecto climático de la altitud, pues las semillas aquí estudiadas provienen de zonas más elevadas (más frías), mientras que las del sur de Texas provienen de regiones más bajas (más calientes).

Flores & Briones (2001) estudiaron a *Yucca periculosa*, del Valle semiárido de Tehuacán, encontrando mayor germinación en potenciales hídricos de 0 a -0.41 MPa (hasta 83%) y disminuyendo a -0.66 MPa (29%), siendo su temperatura óptima de 26°C (94%) y disminuyendo con menor temperatura. Los mismos autores encontraron  $t_{50}$  de 8.4 días en tratamientos de -0.12 y -0.2 MPa y de 10.7 días a 20 y 26°C. Este resultado es similar al obtenido para el porcentaje de germinación de *Y. decipiens* (98% a 18 y 25°C combinados con 0 MPa), mientras que el  $t_{50}$  de *Y. decipiens* fue más rápida (5.78 días) a 18°C con 0 MPa. Es probable que esta diferencia se deba al peso de la semilla, ya que las semillas de *Y. decipiens* pesan 84 mg, mientras que las de *Y. periculosa* pesan 113 mg (Joel Flores *com. per.*), siendo las primeras embebidas más rápidamente y por lo tanto, llevando a cabo más rápido su germinación.

Freeman (1973) encontró que *Agave lechuguilla* germina mejor a temperaturas de 15, 25 y 30°C (aproximadamente 80 a 95%), así como a humedad disponible de 0, -0.2 y -0.5 MPa (80%), siendo similares los resultados aquí obtenidos, mostraron mayor germinación a 18 y 25°C con potenciales de 0 y -0.2 MPa (85%).



*Isolatocereus dumortieri* presentó mayor germinación con temperaturas de 25, 32 y 36°C y mayor germinación en los tratamientos intermedios de humedad disponible, mostrando con esto que no requiere que el suelo esté completamente húmedo para que las semillas sean embebidas y logren germinar. Así, esta especie podría sobrevivir ante cambios ocasionados por el cambio climático, tolerando temperaturas de 36°C, sin necesitar de suelos completamente húmedos para germinar. Este resultado es similar al encontrado por Flores & Briones (2001) para dos cactáceas columnares, *Neobuxbaumia tetetzo* y *Pachycereus hollianus*, las cuales aumentaron su germinabilidad (% de germinación) conforme el potencial hídrico del suelo iba disminuyendo, hasta un límite de - 0.41 MPa, después de este valor la germinación disminuyó. También es similar al obtenido por De la Barrera & Nobel (2003), quienes encontraron para la cactácea columnar *Stenocereus queretaroensis*, mayor germinación en tratamientos de 0 y -0.01 MPa a 25°C que en tratamientos con menor disponibilidad de humedad. Con respecto a la temperatura, Flores & Briones (2001) encontraron mayor germinabilidad a temperaturas de 26°C para las dos cactáceas, en comparación con temperaturas menores (20 y 12°C), así como De la Barrera & Nobel (2003), para *S. queretaroensis*, encontraron que las mejores temperaturas para su germinación fueron de 25°C constante y 25/15°C y 35/25°C alternantes, coincidiendo con mis resultados (mejor germinación a 25 y 32°C).

La germinación de la cactácea toneliforme *E. platyacanthus* fue menor en temperaturas tanto bajas (18°C) como altas (36°C). Sin embargo; no requiere de tanta humedad para germinar, pues germinó mejor en el tratamiento de -0.4 MPa a 32°C. Así, a diferencia de *I. dumortieri*, esta especie no es capaz de germinar en temperaturas esperadas por el cambio climático, a pesar de germinar en condiciones de humedad intermedia. El resultado obtenido para los tratamientos de temperatura es similar al obtenido por Rojas-Aréchiga *et al.* (1998), quien encontró que *E. platyacanthus* presentó mejores porcentajes de germinación en temperaturas de 25°C que a temperaturas bajas (10°C) y altas (40°C).

Con el presente estudio se ha determinado por primera vez la influencia que el cambio climático podría tener en la germinación de especies útiles y/o en categoría de riesgo del sur del desierto chihuahuense. Como se ha mostrado, la mayoría de las especies estudiadas (excepto *P. laevigata*) presentan comportamiento similar, ya que germinan mejor con temperaturas entre 18 y 32°C y en condiciones de alta humedad, aunque no todas requieren de suelos completamente húmedos. Así, un cambio climático, donde las lluvias disminuyan y las temperaturas se eleven, podría afectar la germinación de especies que habitan zonas áridas y semiáridas, y con ello modificar los paisajes y el hábitat de muchos otros organismos.

### *“Evaluación de la tolerancia de semillas a la exposición a altas temperaturas”*

En esta investigación, se demostró que dos especies, *I. dumortieri* y *Y. decipiens*, mostraron menor porcentaje de germinación cuando sus semillas estuvieron expuestas a 70°C. Sin embargo; las otras seis especies (*A. schaffneri*, *A. lechuguilla*, *A. salmiana*, *E. platyacanthus*, *F. hystrix* y *P. laevigata*) no presentaron ningún efecto de los pre-tratamientos de temperaturas. En el caso del tiempo medio de germinación *Y. decipiens*, *A. salmiana* y *F. hystrix* presentaron germinación más lenta en las semillas expuestas a 70°C y cinco especies (*A. schaffneri*, *A. lechuguilla*, *E. platyacanthus*, *I. dumortieri* y *P. laevigata*) no fueron afectadas. Así, no existiendo un patrón de respuesta en el efecto de los pre-tratamientos de altas temperaturas en la germinación.

Diversos estudios han demostrado efectos negativos por las altas temperaturas del suelo así como al tiempo al que están expuestas a las mismas. Por ejemplo, Keeley & Tufenkian (1984) encontraron que semillas de las subespecies de *Yucca whipplei* (subespecies *whipplei*, *parishii*, *caespitosa*, *intermedia*, *percursa*) germinaron mejor sin ningún pre-tratamiento a 25°C, y que

la germinación fue menor cuando fueron expuestas a 110°C por cinco minutos (31%), viéndose aún más afectadas a 130°C por cinco minutos (8%). Además, Cancino *et al.* (1993) encontraron que semillas de *Pachycereus pringlei* (otra cactácea) expuestas a pre-tratamientos de 40°C por una (61%), dos (58%) y tres (59%) semanas, germinaron mejor que semillas expuestas a 70°C por una (31.2%), dos (6.6%) y tres (7%) semanas, viéndose estas últimas más afectadas conforme el tiempo de exposición fue mayor. Ruedas *et al.* (2000) estudiaron semillas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae), no encontrando efectos de pre-tratamientos durante 4 y 12 horas a 90°C en su germinación, alcanzando porcentajes desde 88.8 hasta 95%. Sin embargo; la germinación fue más lenta cuando las semillas fueron expuestas durante 12 horas a 90°C (10.7 días), mientras que el control y las expuestas por cuatro horas presentaron  $t_{50}$  de 6.2 y 5.8 días.

Por el contrario, otras especies no han sido afectadas por pre-tratamientos a altas temperaturas. Por ejemplo, Salim *et al.* (2003) encontraron en semillas de *Prosopis juliflora* y *P. cineraria*, que un pre-tratamiento a 70°C por seis horas no afecta su germinación; este resultado es similar al obtenido para las semillas de *P. laevigata* en el presente estudio. Además, Daws *et al.* (2007) encontraron que semillas de 26 especies de la familia Aizoaceae y cinco especies de la Cactaceae, dentro de las cuales hay un *Ferocactus* (*F. wislizeni*), pre-tratadas a 103°C por 17 horas, no se vieron afectadas en la germinación. Este resultado es similar al obtenido para las cactáceas *E. platyacanthus*, *F. hystrix* e *I. dumortieri*, las cuales tampoco se vieron afectadas por la interacción de las altas temperaturas y del tiempo de exposición en el porcentaje de germinación. Finalmente, Ooi *et al.* (2009) evaluaron el efecto de las altas temperaturas en la germinación de semillas de ocho especies de desiertos australianos, encontrando que tres de ellas presentaron mayores niveles de germinación después de ser expuestas a la temperatura que se predice que se alcanzará en el suelo por efecto del cambio climático (70/25°C).

---

Con esta investigación, se ha determinado que las altas temperaturas experimentadas (40 y 70°C) a nivel del suelo, no tienen efectos en el porcentaje de germinación de las especies estudiadas, pero sí en el  $t_{50}$ , ya que dos especies presentaron germinación más lenta con altas temperaturas y con distintos tiempos de exposición. Así, con un cambio climático en el cual las altas temperaturas en el suelo (e.g. 70°C) serían más comunes, no se dañarían las semillas y podrían permanecer dentro del banco de semillas del suelo hasta que hubiese las condiciones adecuadas para germinar.

---

## 8. CONCLUSIONES

En este estudio se encontró que la germinación de semillas de especies desérticas es afectada por factores relacionados con el cambio climático: las especies disminuyen su germinación y aumentan el tiempo medio de germinación, conforme disminuye la disponibilidad de humedad en el suelo y conforme aumenta la temperatura; específicamente, ante la temperatura máxima *maximorum* esperada ante un cambio climático (36°C). Sin embargo; se encontró una excepción, *P. laevigata*, la cual presentó germinación alta en todas las temperaturas evaluadas y en casi todos los tratamientos de humedad. Además, dos especies, *I. dumortieri* y *E. platyacanthus*, fueron afectadas por las temperaturas bajas (18°C). *Prosopis laevigata* fue la especie más tolerante en todas las condiciones evaluadas y, por lo tanto, podría ser una especie dominante en los paisajes naturales ante los cambios climáticos esperados en zonas áridas y semiáridas. Actualmente, esta especie funciona como planta nodriza para la germinación y el establecimiento de otras especies (Flores & Jurado, 2003), por lo que en un futuro podría también ayudar a que estos procesos se lleven a cabo, aún ante condiciones provocadas por cambio climático.

Por otro lado, todas las especies evaluadas presentaron tolerancia a las altas temperaturas que los suelos de zonas áridas y semiáridas llegan a alcanzar en la actualidad, sin importar el tiempo de exposición a estas temperaturas. Las únicas especies que se vieron afectadas por ambos factores fueron *Y. decipiens* y *F. hystrix*, pero solamente en el tiempo medio de germinación.

Con esto, los efectos del cambio climático, podría no solo alterar la dinámica poblacional de las especies de flora que habitan en el sur del desierto chihuahuense, como se ha demostrado en este estudio, ya que ante un aumento en las temperaturas y en la disminución de la precipitación, las semillas de las especies que aquí habitan, no lograrían germinar y con ello tampoco establecerse

---

y renovar las poblaciones. Se vería afectada directamente la fauna que depende de estas especies, debido al alimento o al refugio que estas especies les proporcionan, así como también se vería afectado el ser humano, ya que todas las especies aquí estudiadas son parte de la forma de subsistencia de la gente que habita estas zonas, obteniendo de ellas diversos usos, como lo son algunos alimentos.

---

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Rawahy, S.H., Al-Dhafri, K.S. & Al-Bahlany, S.S. (2003). Germination, growth and drought resistance of native and alien plant species of the genus *Prosopis* in the sultanate of Oman. *Asian Journal of Plant Sciences*, **2**: 1020-1023.
- Amaral, V.F., Doni, F.L. & Leclerc S.E. (1991). Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, **26**: 1957-1968.
- Arizaga, S. & Ezcurra, E. (2002). Propagation mechanisms in *Agave macroacantha* (Agavaceae), a tropical arid land succulent rosette. *American Journal of Botany*, **89**: 632-641.
- Benítez, H. & Dávila, P. (2002). Las cactáceas mexicanas en el contexto de la CITES. *Biodiversitas*, **40**: 8-11.
- Bewley, J.D. & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. New York: Plenum Press, 445 pp.
- Bewley, J.D. (1997). Seed germination and dormancy. *Plant Cell*, **9**: 1055-1066.
- Cancino, J., León, de la L.J.L., Coria, R. & Romero, H. (1993). Effect of heat treatment on germination of seeds of cardón [*Pachycereus pringlei* (S. Wats) Britt. & Rose, Cactaceae]. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science*, **27**: 49-54.
- Choinski, J.S. & Tuohy, J.M. (1991). Effect of water potential and temperature on the germination of four species of African Savanna trees. *Annals of Botany*, **68**: 227-233.

- 
- Culshaw, C.M., Espinosa, P., Pritchard, H.W. & Engels, J. (2002). Thermal scarification of hard seeds by wet heat treatments risks accelerated seed ageing: evidence from five woody taxa. Proceedings of the International Union of Forestry Research Organizations Tree Seeds Meeting, China. pp. 34-39.
- Daws, M.I., Burslem, D.F.R.P., Crabtree, L.M., Kirkman, P., Mullins, C.E. & Dalling, J.W. (2002). Differences in seed germination responses may promote coexistence of four sympatric *Piper* species. *Functional Ecology*, **16**: 258-267.
- Daws, M.I., Kabadajic, A., Manger, K. & Kranner, I. (2007). Extreme thermo-tolerance in seed of desert succulents is related to maximum annual temperature. *South African Journal of Botany*, **73**: 262-265.
- De la Barrera, E. & Nobel, P.S. (2003). Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*. *Journal of Arid Environments*, **53**: 297-306.
- Ellis, R.H. & Roberts, E.H. (1978). Towards a rational basis for testing seed quality. En P. D. Hebblethwaite (ed.). *Seed Production*. Butterworth. London. pp 605-636.
- Everitt, J.H. (1983). Seed germination characteristics of two woody legumes (Retama and Twisted Acacia) From South Texas. *Journal of Range Management*, **36**: 411-414.
- Fagg, C. & Greaves, A. (1990). *Acacia tortilis* (1925-1988). Annotated Bibliography No. F41. CAB International, Oxford Forestry Institute.



- 
- Flores, J. & Briones, O. (2001). Plant life-form and germination in a Mexican inter-tropical desert: effects of soil water potential and temperature. *Journal of Arid Environments*, **47**: 485-497.
- Flores, J. & Jurado, E. (1998). Germination and early growth traits of 14 plant species native to northern Mexico. *Southwestern Naturalist*, **43**: 40–46.
- Flores, J. & Jurado, E. (2003). Are nurse-protégé interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science*, **14**: 911-916.
- Flores, J. & Jurado, E. (2009). Efecto de la densidad de semillas en la germinación de *Isolatocereus dumortieri* y *Myrtillocactus geometrizans*, cactáceas columnares endémicas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **80**: 141-144.
- Flores, J., Briones, O., Flores, A. & Sánchez-Colón, S. (2004). Effect of predation and solar exposure on the emergence and survival of desert seedlings of contrasting life-forms. *Journal of Arid Environments*, **58**: 1-18.
- Freeman, C. E. (1973). Some germination responses of lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). *Southwestern Naturalist*, **18**: 125-134.
- Freeman, C.E. (1975). Germination responses of a New Mexico population of parry agave (*Agave parryi* Engelm. Var. *parryi*) to constant temperature, water stress and pit. *Southwestern Naturalist*, **20**: 69-74.
- Godínez, A.H. (1998). Los desiertos de México: sus características e importancia. *Ciencia y Desarrollo*, **143**: 17-22.
- González, M.F. (2003). Las comunidades vegetales de México. SEMARNAT, INE. México. pp. 26.

- 
- González-Zertuche, L. & Orozco-Segovia, A. (1996). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas, un ejemplo: *Manfreda brachystachya*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **58**: 15-30.
- Hadley, N.F. (1970). Micrometeorology and energy exchanged in two desert arthropods. *Ecology*, **51**: 434-444.
- Hardegree, S.P. & Emmerich, W.E. (1994). Seed germination response to polyethylene glycol solution depth. *Seed Science and Technology*, **22**: 1-7.
- Harris, J.A., Hobbs, R.J., Higgs, E. & Aronson, J. (2006). Ecological restoration and global climate change. *Restoration Ecology*, **14**: 170-176.
- Hernández, H.M., Goettsch, B., Gómez-Hinostrosa, C. & Arita, H.T. (2008). Cactus species turnover and diversity along a latitudinal transect in the Chihuahuan Desert Region. *Biodiversity and Conservation*, **17**: 703-720.
- Infante, D., González, G., Peraza-Echeverria, L. & Keb-Llanes, M. (2003). Asexual genetic variability in *Agave fourcroydes*. *Plant Science*, **164**: 223-230.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2008). El cambio climático en México. <http://www.ine.gob.mx/>.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI). (2002). Síntesis de información geográfica del estado de San Luis Potosí.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 1-22.

- 
- Irish, M. & Irish, G. (2000). Agaves, Yuccas and Related Plants: A Gardener's Guide. Hong Kong. Timber Press. pp 132-133, 154-156, 249-250.
- Jordan, P.W. & Nobel, P.S. (1979). Infrequent establishment of seedlings of *A. deserti* (Agavaceae) in the north-western Sonoran Desert. *American Journal of Botany*, **66**: 1079-1084.
- Keeley, J.E. & Tufenkian. (1984). Garden comparison of germination and seedling growth of *Yucca whipplei* subspecies (Agavaceae). *Madroño*, **31**: 24-29.
- Lira, S.R.H. (2003). Fisiología vegetal. Segunda reimpresión. Ed. TRILLAS. México. pp. 25-30.
- Maiti, R.K., Sánchez-Arreola, E., Wesche-Ebeling, P. & Ramírez-Bravo, O.E. (2005). Effects of different light-temperature treatments over germination responses and seedling development of some *Agave* species. *Research on Crops*, **6**: 587-595.
- Matekaire, T. & Maroyi, A. (2007). Thermotolerance and osmotic potential studies in germinating sedes and growing seedlings of *Acacia sieberiana* and *Acacia tortilis*. *Journal of Sustainable Development in Africa*. **9**: 192-200.
- Matuda, E. & Piña, L.I. (1980). Las plantas mexicanas del género *Yucca*. FONAPAS. Estado de México. pp. 93-96
- Medina, G.G., Díaz, P.G., Loredó, O.C., Serrano, A.V. & Cano G.M.Á. (2005). *Estadística climatológica básica del estado de San Luis Potosí (período 1961-2001)*. SAGARPA, INIFAP. México. pp. 32-37, 236-237.
- Michel, B.E. & Kaufmann, M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, **51**: 914-916.

- 
- Milbau, A., Graae, B.J., Shevtsova, A. & Nijs I. (2009). Effects of a warmer climate on seed germination in the subarctic. *Annals of Botany*, 1-10.
- Mohamed, Y. A. (2009). Seed germination of some desert plants from Egypt. *Journal of Applied Sciences Research*, **5**: 144-150.
- Nobel, P.S., Geller, G.N., Kee, S.C. & Zimmerman, D. (1986). Temperature and thermal tolerances for cacti exposed to high temperatures near the soil surface. *Plant, Cell and Environment*, **9**: 279–287.
- Ooi, M.K.J., Auld, T.D & Denham A.J. (2009). Climate change and bet-hedging: interactions between increased soil temperatures and seed bank persistence. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01887.x
- Parnesan, C. & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, **421**: 37-42.
- Pearson, T.R.H., Burslem, D.F.R.P., Dalling, J.W. & Mullins, C.E. (2002). Interactions between environmental conditions and seed size on gap detection mechanisms in neotropical pioneer trees. *Ecology*, **83**: 2798-2807.
- Peláez, D.V., Bóo, R.M. & Elía, O.R. (1992). Emergence and seedling survival of caldén semiarid region of Argentina. *Journal of Range Management*, **45**: 564-568.
- Peña-Valdivia, C.B., Sánchez-Urdaneta, A.B., Aguirre, R.J.R., Trejo, C., Cárdenas, E. & Villegas, M.A. (2006). Temperature and mechanical scarification on seed germination of ‘maguey’ (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science and Technology*, **34**: 47-56.
- Rojas-Aréchiga, M. & Vázquez-Yanes, C. (2000). Cactus seed germination: a review. *Journal of Arid Environments*, **44**: 85-104.

- 
- Rojas-Aréchiga, M. (1995). Estudios sobre la germinación de cactáceas del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología) UNAM. Facultad de Ciencias. México. D.F.
- Rojas-Aréchiga, M. Vázquez-Yanes, C. & Orozco-Segovia, A. (1998). Seed response to temperatura of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. *Plant Ecology*, **135**: 207-214.
- Rojas-Aréchiga, M., Orozco-Segovia, A. & Vázquez-Yanes, C. (1997). Effect of light on germination of seven species of cacti from Zapotitlán Valley in Puebla, México. *Journal of Arid Environments*, **36**: 571-578.
- Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rozenzweig, C. & Pounds, J.A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, **421**: 57-60.
- Ruedas, M., Valverde, T. & Castillo, A.S. (2000). Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cacataceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **66**: 25-35.
- Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana*, **14**: 3-21.
- Sánchez, S.B.H., García, M.E., Terrazas, T. & Reyes, O.A. (2005). Efecto de la hidratación discontinua sobre la germinación de tres cactáceas del desierto costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas*, **50**: 4-14.
- SAS/Institute. (1999) SAS/STAT User's guide version 8. Cary, N.C.: SAS Institute Inc.

- 
- Scheinvar, L. (2004). *Flora cactológica del estado de Querétaro: Diversidad y riqueza*. Fondo Cultural Económico. México. pp. 195-197, 200-201, 206-207, 224-227, 236-238.
- Scifres, C.J. & Brock, J.H. (1971). Thermal regulation of water uptake by germinating honey mesquite seeds. *Journal of Range Management*, **24**: 157-158.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. (1995). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New York: W.H. Freeman and Company. pp. 887.
- Terrones, R.T. del R., González, S.C. & Ríos, R.S.A. (2004). *Arbustivas Nativas de uso múltiple en Guanajuato*. INIFAP. México. pp. 97-100.
- Thompson, K. (2000). The functional ecology of soil seed banks, In: Fenner, M. (Ed.). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2<sup>nd</sup> Edition. CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 215-236.
- Timberlake, J.R., Fagg, C. & Barnes, R. (1999). *Field guide to the Acacias of Zimbabwe*. CBC Publishing, Harare.
- Van den Berg, L. & Zeng Y. J. (2006). Response of South Africa indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *South African Journal of Botany*, **72**: 284-286.
- Vázquez-Yanes, C. & Orozco-Segovia, A. (1996). Physiological Ecology of Seed Dormancy and Longevity in the Tropical Rain Forest. En: S. Mulkey, R. L. Chazdon y A. P. Smith (Eds). *Physiological Ecology of Tropical Forests*. Chapman & Hall. pp. 535-554.

- 
- Villalobos, A.E. & Peláez D.V. (2001). Influences of temperature and water stress on germination and establishment of *Prosopis caldenia* Burk. *Journal of Arid Environments*, **49**: 321-328.
- Welbaum, G.E., Bradford, K.J., Yim, K.O., Booth, D.T. & Oluoch, M.O. (1998). Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. *Seed Science Research*, **8**: 161-172.
- Whitaker, C., Berjak, P., Kolberg, H. & Pammenter, N. (2004). Responses to various manipulations, and storage potential, of seeds of the unique desert gymnosperm, *Welwitschia mirabilis*. Hook. Fil. *South African Journal of Botany*, **70**: 622-630.
- Zimmer, K. (1980). Effects of temperature on germination of cactus seeds X. germination of some Ferocactus species. *Gartenbauwissenschaft*, **45**: 121-123.